

6° Jornadas ITEE 2021

Del 14 al 16 de septiembre

Sextas Jornadas de Investigación, Transferencia, Extensión y Enseñanza de la Facultad de Ingeniería

6tasjornadasitee@ing.unlp.edu.ar

www.ing.unlp.edu.ar | Calle 1 y 47 - La Plata (B1900TAG)



Trabajos - 2021

Comité Organizador:

Ing. Horacio Frene
Decano

Ing. Gustavo Barbera
Comisión de Enseñanza

Ing. Juan Francisco Martiarena
Comisión de Extensión

Ing. Carlos LLorente
Ing. Liliana M. Gassa
Comisión de Investigación y Transferencia

Libro de Actas de las 6tas Jornadas de Investigación, Trasferencia, Extensión y Enseñanza / Daniel Hamann... [et al.] ; compilación de Liliana Mabel Gassa... [et al.]. - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ingeniería, 2021.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-34-2049-2

1. Ingeniería. I. Hamann, Daniel. II. Gassa, Liliana Mabel, comp. CDD 620.007

AERONÁUTICA



RESPIRADOR MECÁNICO DE EMERGENCIA

Facundo D. Pasquevich[1, 2], Sergio Bustamante [1, 2], Carlos F. Curell [1, 2], Daniel Hamann[1], Guillermo N. Garaventta[1,3], Ariel Gamarra[1], Luis M. Mundo[1, 2], Alejandro J. Patanella[1, 2], Pablo R. Ringegni[1, 2], Marcos D. Actis [1, 2].

Centro tecnológico Aeroespacial (CTA) [1]. Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados (GEMA) [2]. Departamento de Aeronáutica. Facultad de Ingeniería. UNLP. CP 1900. [3] Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia de Bs As.

facundo.pasquevich@ing.unlp.edu.ar

Respirador mecánico, AMBU, COVID-19, PRVC.

INTRODUCCIÓN

El escenario observado en diferentes países indica que la posible saturación del sistema de salud y la consecuente falta de respiradores para pacientes graves con patología COVID-19, representar un aumento directo en el grado de mortalidad de la enfermedad. El respirador mecánico de emergencia busca establecer un medio de ventilación mecánica que permita proveer presión positiva de ventilación pulmonar a pacientes que no pueden respirar o que tienen problemas para respirar por su propia cuenta. La función de este sistema es asistir a pacientes en condiciones de emergencia médica grave, logrando un soporte temporario, mientras se consigue estabilizar al paciente y derivarlo a un respirador mecánico avanzado que permite controlar más variables médicas y realizar el adecuado tratamiento terapéutico.

En el presente trabajo se describen las actividades de diseño, construcción y ensayos realizados sobre el respirador mecánico de presión regulada y volumen controlado desarrollado (Figura 1) a partir de la automatización del uso de un respirador manual o resucitador tipo AMBU. El conjunto permite reemplazar la tarea manual realizada por el personal de salud en la operación de un resucitador AMBU por un sistema autónomo que logre la misma función temporalmente. Asimismo, con el agregado de diferentes sensores, se logra el control de las variables de la mecánica respiratoria que sería demasiado complejo efectuarlo manualmente. De ésta forma, se consigue liberar al personal de salud para que se aboque a otro tipo de tareas. El uso del AMBU como sistema generador de presión se basa en la necesidad de que los sistemas utilizados cuenten con la aprobación de la ANMAT, por lo que el uso de un AMBU homologado permite acortar los procesos de certificaciones. Como punto de partida para el diseño, se optó por utilizar el respirador de código abierto que el *Massachusetts Institute of Technology* desarrolla, bajo el nombre de *MIT Emergency Ventilator*.

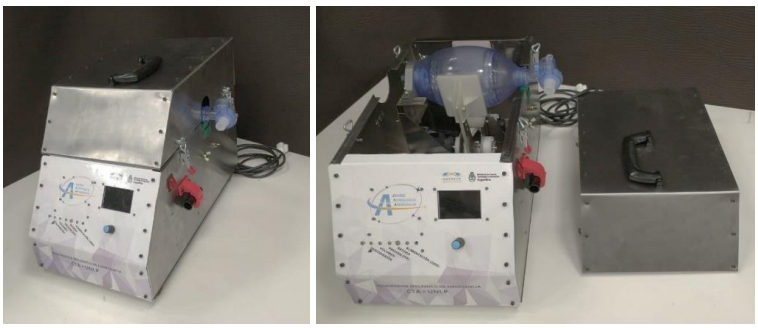


Figura 1 – Respirador Mecánico de Emergencia.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Parámetros de la mecánica respiratoria.

La primera etapa para el desarrollo del respirador fue establecer los parámetros de la mecánica respiratoria que se deben cumplir para que el mismo sea funcional a su objetivo. Para ello, el equipo de trabajo participó de diferentes reuniones con expertos médicos y recopiló diversas bibliografías donde se explicitan los parámetros requeridos específicamente para ventilar a pacientes con COVID-19.

Como resultado de esta investigación se estableció el diseño de un respirador mecánico de emergencia de presión regulada y volumen controlado (PRVC) con los siguientes parámetros: Parámetros de mecánica respiratoria: Presión máxima 40 cm H20; Presión nominal de funcionamiento 30 cm H20; Tiempo inspiratorio 0,6-0,8 segundos; Frecuencia de respiración entre 7-30 por minuto; Relación entre Inhalación y Exhalación I/E 1:2; Volumen de inhalación (Volumen Tidal): entre 300cm^3 y 700cm^3.

Una vez establecidas las características que se especificaron por el grupo de trabajo a la hora del diseño del respirador, se comenzó una búsqueda de proyectos similares que se estuviesen desarrollando en otras regiones, con el fin de iniciar las tareas con una base de información previamente generada y de este modo acortar los tiempos del desarrollo. Asimismo, como parámetro de diseño, se estableció que al ser un equipo de soporte de vida y en base a la necesidad de que sus sistemas cuenten con la aprobación de la ANMAT, el respirador debe contar con un AMBU homologado como fuente generadora de presión ya que su uso también permite acortar los tiempos de certificaciones. A modo de ejemplo, en la Figura 2 se observan las bolsas AMBUs utilizadas.



Figura 2 – Bolsas AMBUs utilizadas.

La investigación se centró en equipos preexistentes que tengan la factibilidad de cumplir con las especificaciones de la mecánica ventilatoria establecidas y se concluyó que la mejor opción era tomar como punto de partida al respirador de código abierto que el *Massachusetts Institute of Technology* estaba desarrollando, bajo el nombre de *MIT Emergency Ventilato*r [7].

Diseño Mecánico.

El diseño mecánico conceptual presenta un sistema de motor eléctrico con engranajes de accionamiento sobre dos brazos que aprietan un AMBU. Todo este conjunto se localiza en una caja con capacidad de transporte, que a su vez alberga la electrónica de control, la instrumentación, los sistemas de alarma y los sistemas de respaldo de energía. En la Figura 3 se presenta un esquema del interior del respirador.

Particularmente, el mecanismo de accionamiento se compone de un motorreductor que acciona un piñón, el cual le transmite el movimiento de rotación a dos coronas dentadas. Estas coronas son solidarias a los brazos, quienes son los encargados de presionar el AMBU.

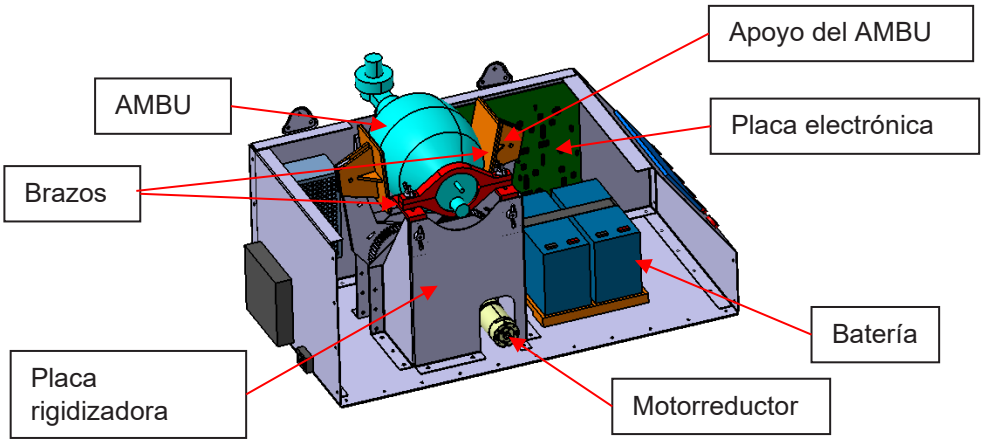


Figura 3 – Esquema del interior del respirador.

Cada brazo se monta sobre un eje, el cual es soportado por dos rodamientos a fin de minimizar las pérdidas por fricción. Estos rodamientos se alojan en piezas denominadas cazoletas. Se sitúan dos cazoletas por brazo. Asimismo, además de cumplir la función de alojar a los rodamientos, las cazoletas sirven de soporte para colocar los sensores TPS, los cuales se montan sobre los ejes y se utilizan para sensar el grado de apertura de los brazos.

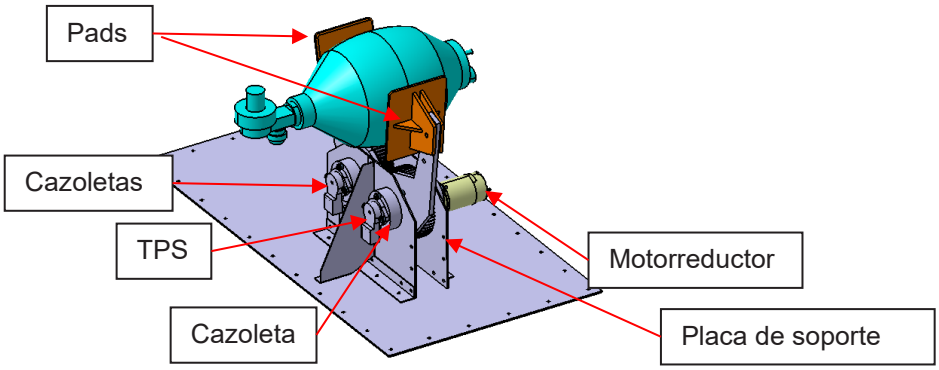


Figura 4 – Componentes del mecanismo de accionamiento.

Para el diseño de los engranajes se considera la relación de transmisión necesaria para obtener la velocidad de apriete del AMBU, así como la potencia a transmitir. Por un lado, la velocidad es establecida por los parámetros de la mecánica ventilatoria mientras que la potencia se define conociendo la fuerza necesaria para apretar el AMBU y la velocidad de aplicación de dicha carga. La fuerza de apriete se estableció mediante ensayos, en los cuales se fijó una presión interna en el AMBU y se registró la fuerza necesaria para expulsar el volumen de gas en su interior.

Con el fin de determinar el grado repetibilidad en cuanto a presión y volumen de aire expulsados que genera el AMBU al ser sometido a reiterados ciclos de apriete, se llevaron a cabo ensayos en donde se comprimió el AMBU más de 300.000 veces, registrándose la curva de presión generada cada cierto intervalo de ciclos. La comparación entre las curvas de presión luego de 900 ciclos y luego de 310.000 ciclos se observa en la Figura 5 (izquierda).

Luego de analizar los resultados, se concluyó que el cambio en las curvas de presión se debe principalmente a que luego de ciclar repetitivamente al AMBU, éste presenta una deformación remanente cada vez mayor, la cual no logra desaparecer en el corto tiempo

que existe entre accionamientos. Sin embargo, si se incrementa el lapso entre compresiones, permitiendo al AMBU recuperar su volumen inicial y luego se lo comprime nuevamente, se logra obtener curvas de presión similares a las iniciales, tal como se observa en la Figura 5 (derecha).

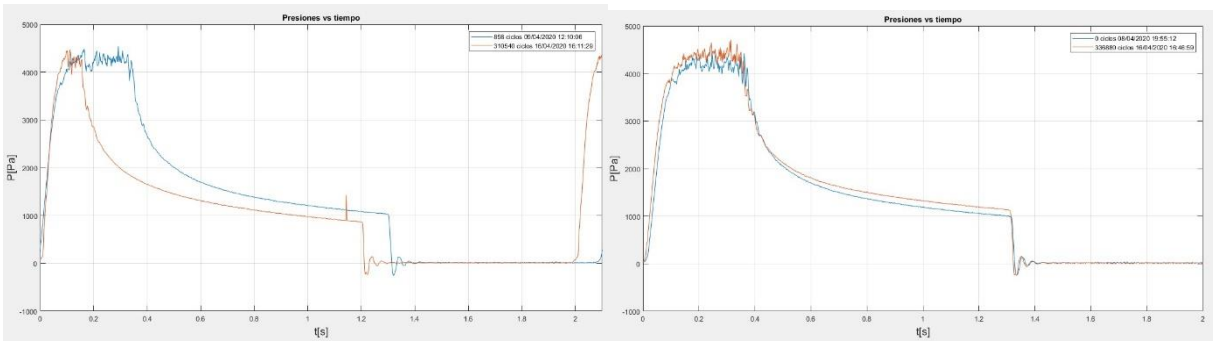


Figura 5 – Ensayos de repetibilidad sobre el AMBU.

Diseño Electrónico.

El diseño electrónico del sistema de control se realiza a partir del uso de microprocesadores. Cuenta con pantallas para monitorear las distintas variables de operación y para cambiar parámetros de uso, contemplando a futuro redundancia en el sistema electrónico para ser tolerante a fallas simples. A su vez, se considera la flexibilidad para poder ir incorporando alarmas que, según las pruebas y resultados obtenidos, necesiten ser incluidas. El diseño contempla entradas y salidas de medición y control adicionales de tal manera de poder conectarlas a cualquier necesidad futura, permitiendo así expandir el desarrollo.

Diseño Final.

En la Figura 6 se muestra el respirador en su versión final completamente ensamblado y en la Figura 7 una vista interior donde se indican los principales componentes.

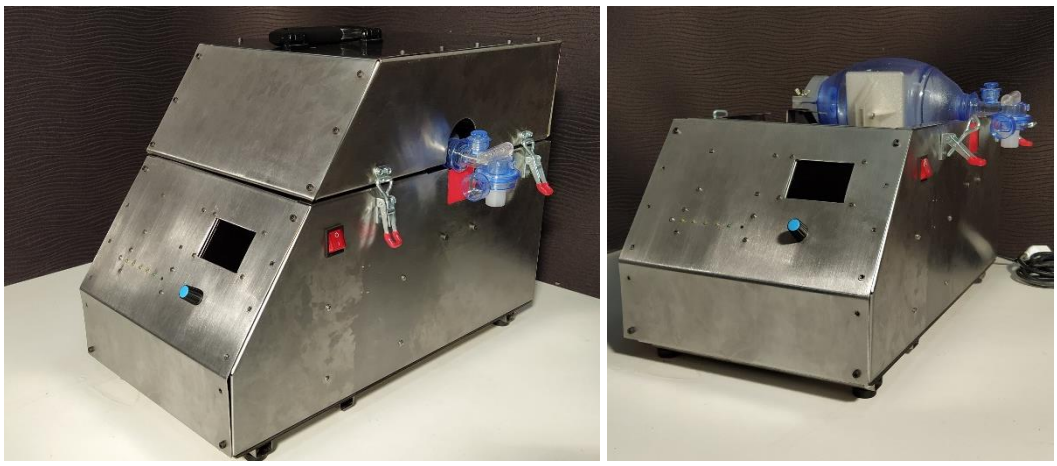


Figura 6 – Respirador ensamblado.

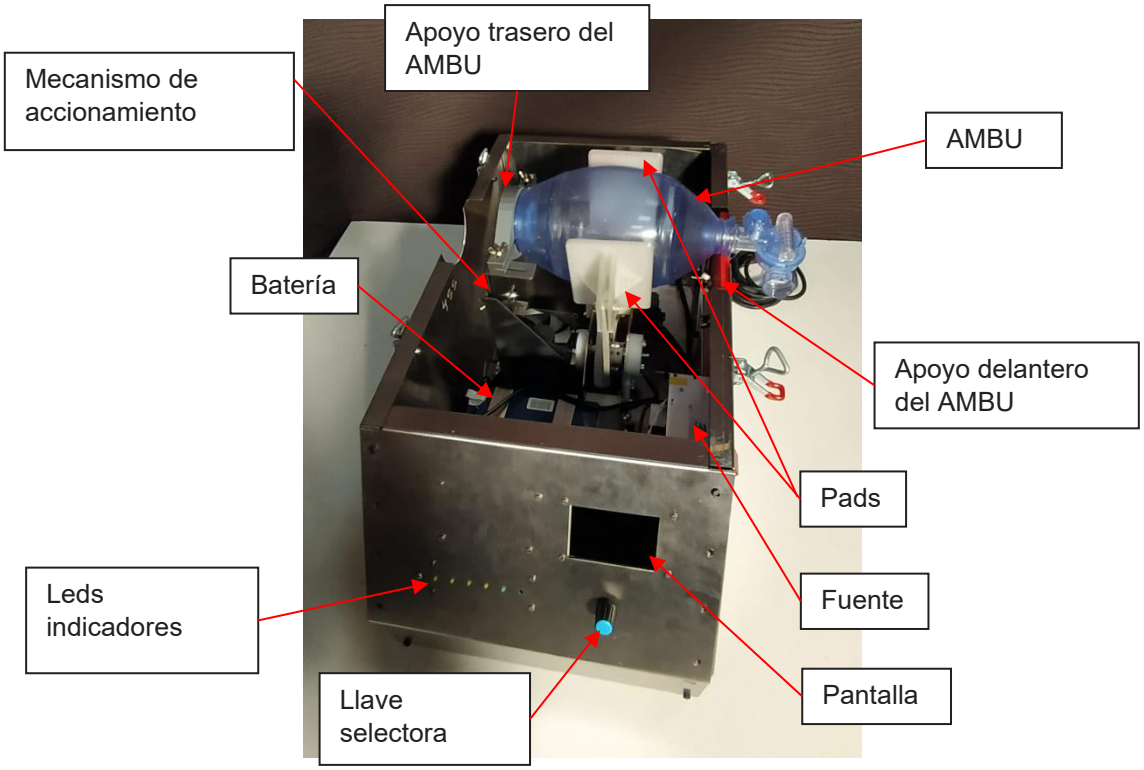


Figura 7 – Principales componentes del respirador.

Utilizando este conjunto se realizaron diversos ensayos de calificación. En una primera instancia, se utilizó una bolsa de anestesia de dos litros colocada adentro de una caja contenedora y comprimida entre dos placas, simulando un pulmón de forma simplificada. En la Figura 8 se presenta este conjunto de ensayo.

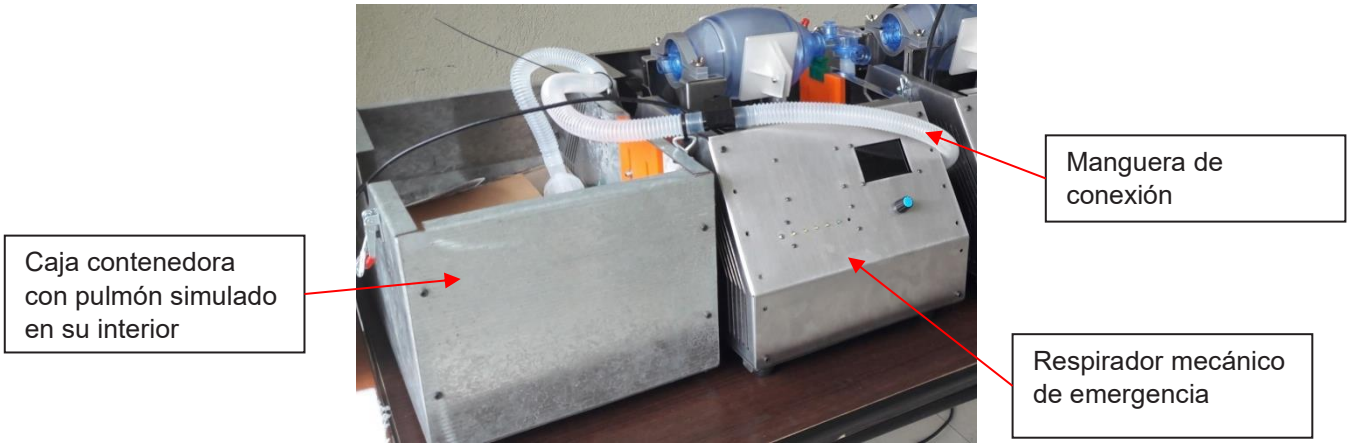


Figura 8 – Conjunto de Ensayo - Principales componentes.

En las siguientes figuras se presentan fotografías de la pantalla visualizadora del respirador, donde se representan los datos y gráficos de las variables sensadas. Estas variables corresponden a presión, flujo, volumen y frecuencia; su lectura y gráfica se realizan en tiempo real, permitiendo al operador verificar los parámetros establecidos. Vale recordar que este respirador fue diseñado para realizar el control de las variables respiratorias según en modo PRVC, es decir, se puede optar por establecer una presión constante de insuflación pulmonar o un flujo constante de insuflación.

La Figura 9 corresponde al control realizado a presión constante (se establece una presión), mientras que la Figura 10 al control a flujo constante (se establece un volumen).

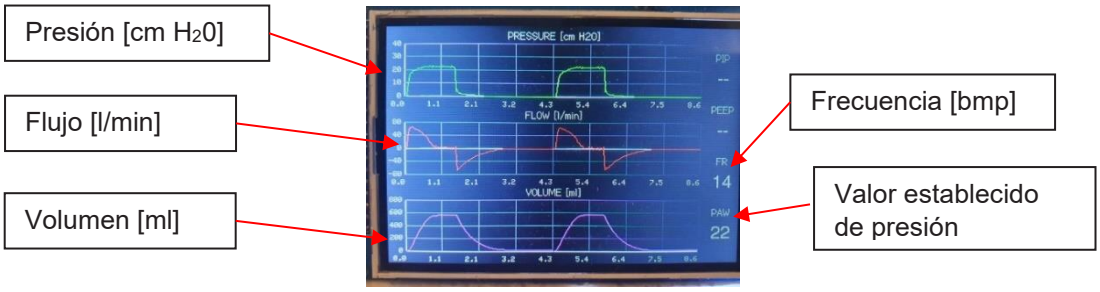


Figura 9 – Visualización de variables. Control a presión constante.

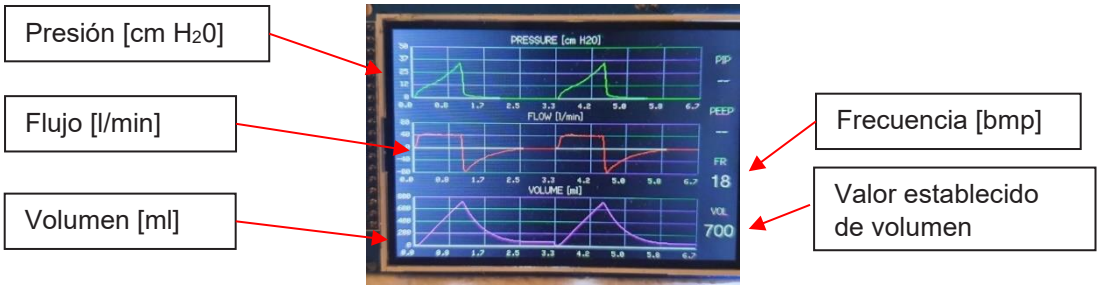


Figura 10 – Visualización de variables. Control a flujo constante.

En ambos casos se pueden apreciar las “mesetas” de las variables controladas. En el caso de la Figura 9, la presión y en el caso de la Figura 10, el flujo. Estas “mesetas” indican que, durante el periodo de tiempo establecido, la presión (Figura 9) y el flujo (Figura 10) se mantienen constantes, verificando los correspondientes sistemas de control por presión y por flujo.

CONCLUSIONES

Este desarrollo está apuntado a resolver el inconveniente de conseguir tiempo entre que llega el paciente con problemas respiratorios graves y la liberación de un respirador más avanzado. A su vez, permite ayudar a la capacitación del personal de salud en el uso de respiradores convencionales, dado que los parámetros básicos de programación y visualizaciones son muy similares.

La ejecución del proyecto nos ha permitido demostrar que se dispone de capacidad técnica para afrontar el desarrollo y la provisión de nuevas herramientas que tienen como finalidad fortalecer al Sistema de Salud. El COVID-19 puso de manifiesto la necesidad que poseen los países como el nuestro, de desarrollar sus propios equipamientos con el fin de no depender de la adquisición internacional que, en casos de pandemia, puede colapsar y comprometer nuestro Sistema de Salud.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dean R. Hess, Robert M. Kacmarek (2014). Essentials of Mechanical Ventilation. McGraw-Hill Education.
2. J.M. Cairo (2012). Pilbeam's Mechanical Ventilation: Physiological and Clinical Applications. Elsevier Mosby.
3. Sociedad Argentina de Terapia Intensiva (2020). Mínimos clínicamente aceptables para el desarrollo de dispositivos capaces de dar soporte ventilatorio durante la pandemia generada por COVID 19. https://www.sati.org.ar/images/SATI_Minimos_clinicamente_aceptables_para_el_desarrollo_de_dispositivos_capaces_de_dar_soporte_ventilatorio_durante_la_Pandemia_generada_por_COVID_19.pdf
4. MIT - Massachusetts Institute of Technology (2020). MIT Emergency Ventilator. https://emergency-vent.mit.edu/

ANÁLISIS COMPARADO DE MOTORES DE FLOTAS AEROCOMERCIALES EN LA REGIÓN ICAO SAM – ESCENARIO ACTUAL VS PRE COVID-19

Balduzzi, Nehuen; Granda, Ezequiel; Ruffini, Franco N.; D'Iorio Juan Ignacio

Grupo Transporte Aéreo – UIDET "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: nehuen.balduzzi@alu.ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: ICAO, SAM, pandemia, aeronaves, motores.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene por objeto analizar, de manera preliminar, el impacto de la pandemia sobre las flotas operativas aerocomerciales en los trece (13) países que integran la región SAM de la International Civil Aviation Organization (ICAO),. El mismo se centra en un estudio del estado de situación de las aeronaves, cuyo período de análisis está comprendido entre un escenario de prepandemia al 31 de diciembre del 2019 y un escenario de pandemia al 28 de febrero del 2021.

Esta publicación aborda la recopilación y el procesamiento de la información relativa a las flotas operativas de las aerolíneas comerciales radicadas en la región, centrando el análisis en:

- Modelo y familia de la aeronave.
- Cantidad y tipo de motores.
- Edad de las aeronaves.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Criterios e hipótesis

La fuente principal de datos es Airfleets [1], la cual brinda, entre otros, datos sobre: matrícula, tipo, modelo de motor, y fecha de primer vuelo de cada una de las aeronaves analizadas. Esta información fue complementada con paginas oficiales de la aerolínea bajo análisis, Flightradar24 [2] o Planespotters [3] según corresponda.

Para desarrollar el presente trabajo se asumió que la información brindada por las diferentes fuentes de consulta resultaba valedera, con lo cual se procedió a recolectar, procesar y analizar los resultados para luego concluir al respecto.

Distribución según cantidad y tipo de motores

Teniendo en cuenta los escenarios temporales establecidos, la cantidad total de motores correspondientes a las flotas aerocomerciales radicadas en la región SAM a diciembre del 2019 fue de 2.651, mientras que, a febrero de 2021, este número se redujo a 2.451. En las tablas Tabla 1 y

Tabla 2 se puede observar de forma detallada la cantidad de aeronaves que poseen 2, 3, y hasta 4 motores en el periodo de análisis.

Tabla 1. Balance de aeronaves según cantidad de motores.

Cantidad de motores	31/12/2019	28/2/2021	Balance	Balance (porcentaje)
2	1.282	1.180	-102	-7,96%
3	1	1	0	0,00%
4	21	22	1	4,76%
Total	**1.304**	**1.203**	**-101**	**-7,74%**

Tabla 2. Balance de aeronaves ordenadas por fabricante de motor.

Fabricante del motor	31/12/2019	28/2/2021	Balance
CFM International	636	585	-51
International Aero Engines	135	106	-29
General Electric	204	186	-18
Rolls-Royce	90	82	-8
Sin información	2	2	0
Lycoming	19	20	1
Pratt & Whitney	218	222	4
Total	**1.304**	**1.203**	**-101**

Con el fin de evidenciar la cantidad de motores que presentan las flotas aerocomerciales de los diversos países pertenecientes a la región SAM, se construyó la Tabla 3. Se observa en el balance global una reducción significativa en aeronaves bimotores.

Tabla 3. Balance de aeronaves según cantidad de motores.

		ESCENARIO 2019 CANTIDAD DE MOTORES			ESCENARIO 2021 CANTIDAD DE MOTORES			BALANCE CANTIDAD DE MOTORES		
	País	2	3	4	2	3	4	2	3	4
	Argentina	115	-	-	93	-	-	-22	0	0
	Bolivia	36	1	6	38	1	6	2	0	0
	Brasil	502	-	-	472	-	-	-30	0	0
	Chile	134	-	8	122	-	9	-12	0	1
	Colombia	199	-	-	201	-	-	2	0	0
	Ecuador	24	-	-	16	-	-	-8	0	0
	Guyana	3	-	-	3	-	-	0	0	0
	Panamá	110	-	-	91	-	-	-19	0	0
	Paraguay	4	-	-	4	-	-	0	0	0
	Perú	62	-	5	58	-	5	-4	0	0
	Surinam	8	-	-	6	-	-	-2	0	0
	Uruguay	2	-	-	1	-	-	-1	0	0
	Venezuela	83	-	2	75	-	2	-8	0	0
	Total	1.282	1	21	1.180	1	22	-102	0	1

Distribución según edad

Otro dato de gran interés resulta de comparar la edad de las flotas. La edad promedio de la región aumentó 0,6 años entre los períodos contemplados. El detalle de la variación de edad promedio por país puede observarse en la Tabla 4.

Tabla 4. Edad promedio de la flota por país.

PAIS	31/12/2019	28/2/2021	Balance
Uruguay	15,2	9,4	-5,8
Argentina	10,0	9,6	-0,5
Bolivia	23,3	23,3	0,1
Chile	9,2	9,4	0,2
Panamá	11,2	11,6	0,4
Brasil	9,7	10,5	0,8
Venezuela	25,5	26,5	1,0
Guyana	19,0	20,2	1,2
Colombia	9,6	11,2	1,7
Perú	12,4	14,3	1,8
Ecuador	14,4	16,4	2,0
Surinam	18,6	20,7	2,2
Paraguay	18,0	20,6	2,7
Total	**15,1**	**15,7**	**0,6**

En la Figura 1 se puede observar de manera gráfica la representación de la Tabla 4.

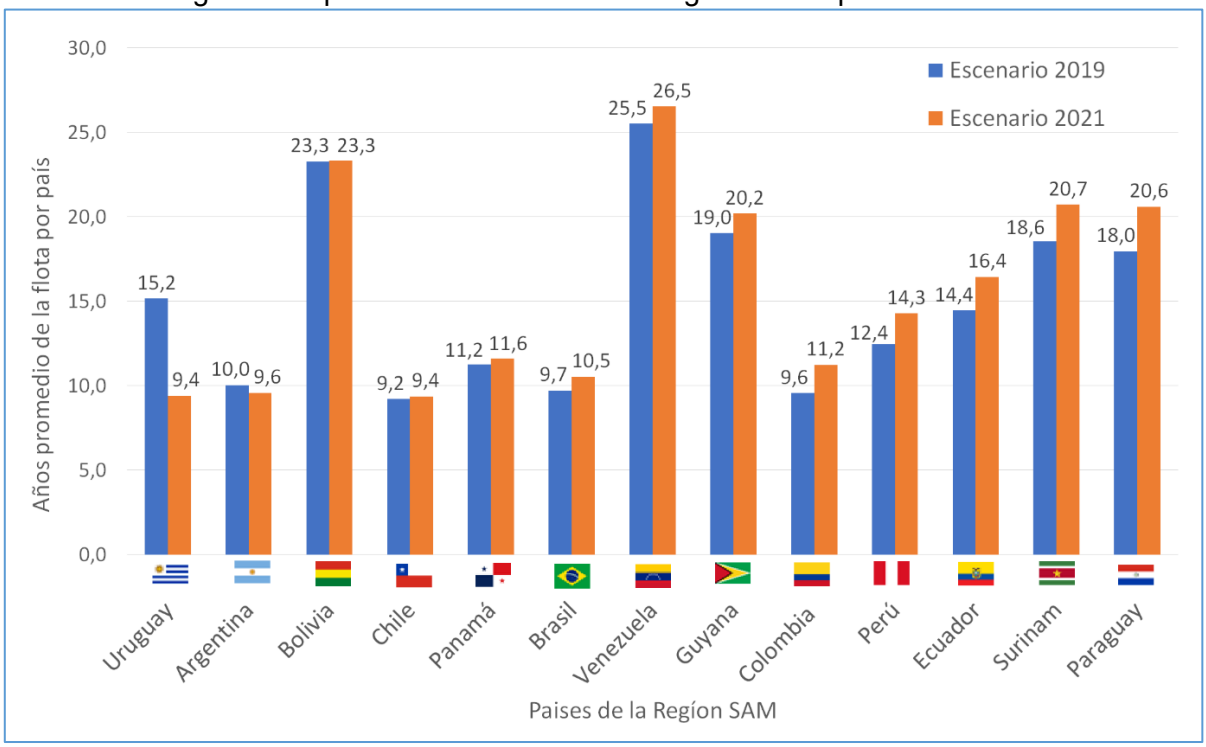


Figura 1. Edad promedio de las flotas por país.

Es importante remarcar que, en la mayoría de los países, la edad promedio tendió a incrementarse. Sin embargo, si bien países como Argentina y Uruguay muestran una

disminución en la edad, esto es debido a la devolución o venta de aeronaves operativas en los respectivos países, y no a la incorporación de nuevas unidades.

Por otra parte, se muestra en la Tabla 5**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la edad promedio por modelo de aeronave. En la misma se puede observar que salvo el Embraer 135 y el A320, el resto de los modelos incrementaron su edad promedio.

Tabla 5. Balance de edad promedio por modelo de aeronave.

AERONAVE	31/12/2019	28/2/2021	Balance
Embraer 135	16,5	15,9	-0,6
Airbus A320	7,6	7,6	0,0
Boeing 777	10,3	10,7	0,4
Boeing 767	13,6	14,0	0,4
Embraer 190 / 195	8,2	8,6	0,5
CRJ-200	20,4	21,0	0,6
Fokker 70	24,7	25,2	0,6
Embraer 120	29,4	30,1	0,7
Airbus A330	10,6	11,4	0,8
Airbus A350	2,8	3,6	0,9
Boeing 737	13,9	14,9	1,0
Fokker 100	28,7	29,8	1,1
ATR 72	7,0	8,1	1,1
Boeing 757	23,0	24,1	1,1
Airbus A300	36,4	37,5	1,2
Fokker 50	29,8	31,0	1,2
Boeing 787	4,3	5,5	1,2
Embraer 145	17,0	18,1	1,2
DC-10	31,6	32,8	1,2
Embraer 170	15,3	16,5	1,2
MD-80	29,6	30,8	1,2
BAe 146 / Avro RJ	28,0	29,3	1,4
Dash 8	21,5	23,3	1,8
Airbus A340	23,5	25,5	2,0
Beech 1900D	22,7	24,8	2,1
ATR 42	15,2	17,9	2,6
Promedio	**11,60**	**12,40**	

Gráficamente en la Figura 2, se visualiza lo establecido anteriormente.

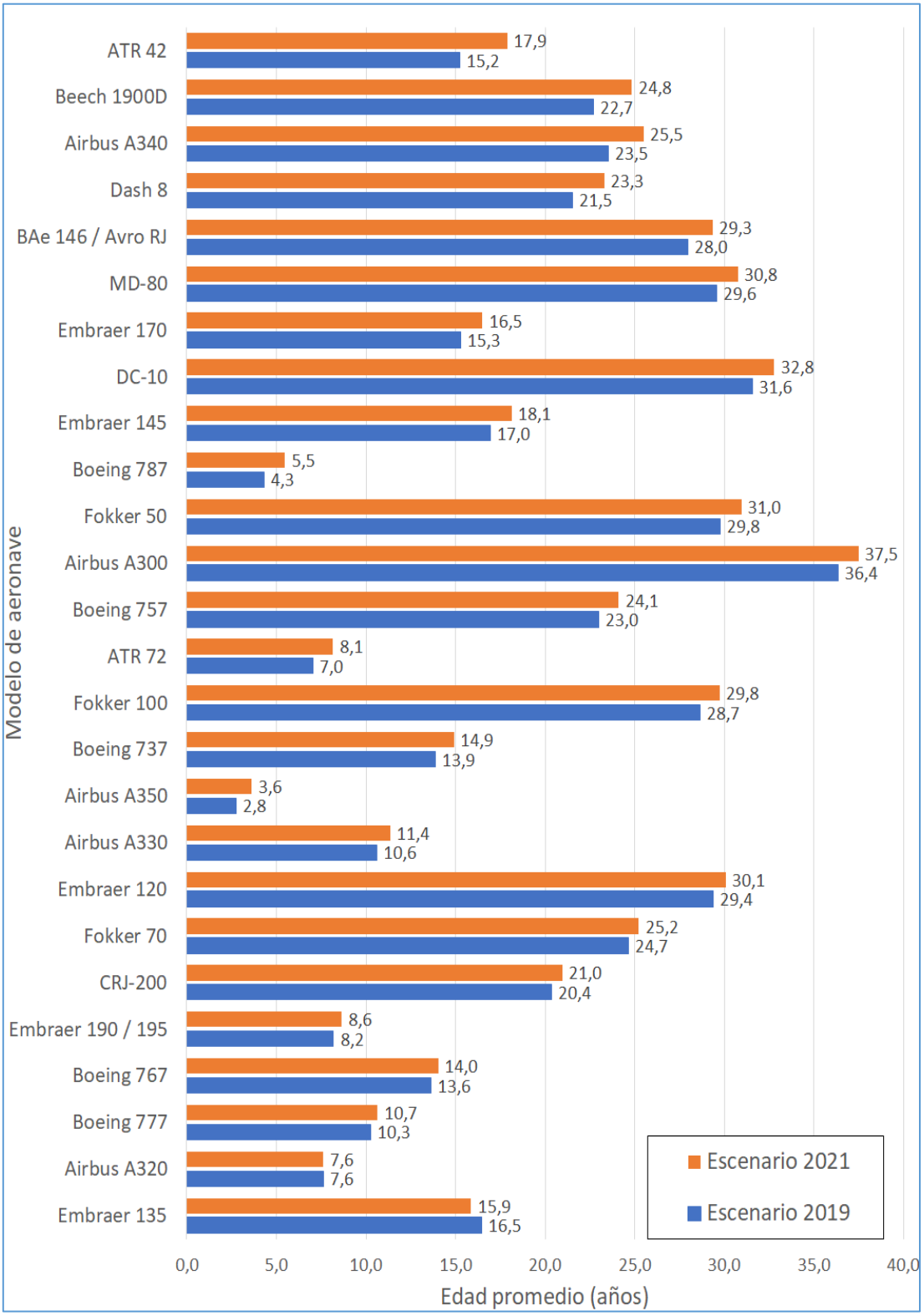


Figura 2 . Balance de edad promedio por modelo de aeronave.

CONCLUSIONES

A continuación, se resumen las principales observaciones y conclusiones que arrojaron los análisis realizados sobre los resultados del procesamiento de la información disponible, contemplando que las mismas tienen como fechas de referencia al 31 de diciembre de 2019 y al 28 de febrero de 2021.

- La información aquí volcada solo resulta válida en el contexto del presente estudio contemplando la totalidad del mismo, pero prestando atención a las condiciones de contorno existentes, las hipótesis de trabajo asumidas y los criterios establecidos para el procesamiento y análisis de la información recolectada.

- En la región se presentó una disminución de 102 aeronaves bimotores (representando un 7,96% de la totalidad de aeronaves de 2019), y la incorporación de una aeronave cuatrimotor (representando el 4,76% de las aeronaves cuatrimotores de 2019).

- En cuanto a los fabricantes de motores, CFM International continúa liderando la primera posición. No obstante, cabe destacar que esta última ha perdido presencia en la región, ya que 51 aeronaves que utilizaban sus plantas poder dejaron de operar. En segundo lugar, se encuentran los motores IAE con un total de 29 aeronaves desafectadas. Por otro lado, la cantidad de aeronaves propulsadas con motores de LY y PW se vio incrementada, afectando a 4 y 1 aeronaves respectivamente.

- En cuanto a la cantidad de motores, predominan las aeronaves bimotores con un total de 1.180 aeronaves (98%), seguidas por las cuatrimotores con 22 aeronaves, y finalmente, las trimotores con una única aeronave. De esta manera la región presenta un total de 2.447 plantas poder.

- En cuanto a la antigüedad de la flota, la edad promedio de las aeronaves en la región SAM aumentó 0,6 años en el intervalo analizado. Los países que lograron una reducción marcada con respecto a la edad promedio de sus flotas, fueron Uruguay (disminución de 5,8 años) y Argentina (disminución de 0,5 años). En contraparte, los países que más vieron incrementada la edad de sus flotas fueron Paraguay y Surinam, con un aumento de 2,7 y 2,2 años respectivamente.

- A excepción del Embraer 135, el resto de los modelos de aeronaves incrementaron su edad.

- Finalmente, indicar que los resultados aquí presentados deben ser convalidados por las respectivas autoridades aeronáuticas de cada país que integran la región.

Bibliografía

[1] Airfleets. Disponible en internet: www.airfleets.es.
[2] Flightradar 24. Disponible en internet: www.flightradar24.com.
[3] Planespotters. Disponible en internet: www.planespotters.net.

ANÁLISIS COMPARADO DE FLOTAS AEROCOMERCIALES EN LA REGIÓN ICAO SAM – ESCENARIOS: ACTUAL VS PRE COVID-19

Ruffini, Franco N.; Granda, Ezequiel; Balduzzi, Nehuen; Di Bernardi, C. Alejandro

Grupo Transporte Aéreo – UIDET "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: franco.ruffini@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: ICAO, SAM, pandemia, aeronaves, fuselajes.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene por objeto analizar, de manera preliminar, el impacto de la pandemia sobre las flotas operativas aerocomerciales en los trece (13) países que integran la región SAM International Civil Aviation Organization (ICAO),. El mismo se centra en un estudio del estado de situación de las aeronaves prestando atención a sus motores, cuyo período de análisis está comprendido entre un escenario de pre pandemia al 31 de diciembre del 2019 y un escenario de pandemia al 28 de febrero del 2021.

Este reporte aborda la recopilación y el procesamiento de la información relativa a las flotas operativas de las aerolíneas comerciales radicadas en la región, centrando el análisis en:

- Modelo y familia de la aeronave.
- Matrícula.
- Tipo de fuselaje (Narrow Body o Wide Body).
-

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Criterios e hipotesis

La fuente principal de datos es Airfleet [1], la cual brinda, entre otros, datos sobre: matrícula, tipo, modelo de motor, y fecha de primer vuelo de cada una de las aeronaves analizadas. Esta información fue complementada con páginas oficiales de la aerolínea bajo análisis, Flightradar24 [2]) o Planespotters [3] según el caso.

Para desarrollar el presente trabajo se asumió que la información brindada por las diferentes fuentes de consulta resultaba valedera, con lo cual se procedió a recolectar, procesar y analizar los resultados para luego concluir al respecto.

Aerolíneas activas

La región SAM presentaba, al 31 de diciembre de 2019, un total de 89 Aerolíneas radicadas en cada uno de los diferentes países. Sin embargo, producto de la pandemia, la cantidad de Aerolíneas se redujo a 83, según como se indica en la Tabla 1 y en forma gráfica en la Figura 1.

Tabla 1. Cantidad de aerolíneas por país.

	PAIS	al 31/12/2019	28/2/2021	BALANCE
	Argentina	10	6	-4
	Chile	7	6	-1
	Colombia	17	16	-1

	PAIS	al 31/12/2019	28/2/2021	BALANCE
	Ecuador	6	5	-1
	Perú	6	5	-1
	Bolivia	5	5	0
	Guyana	1	1	0
	Paraguay	1	1	0
	Surinam	2	2	0
	Uruguay	1	1	0
	Venezuela	13	13	0
	Brasil	17	18	1
	Panamá	3	4	1
	Total	**89**	**83**	**-6**

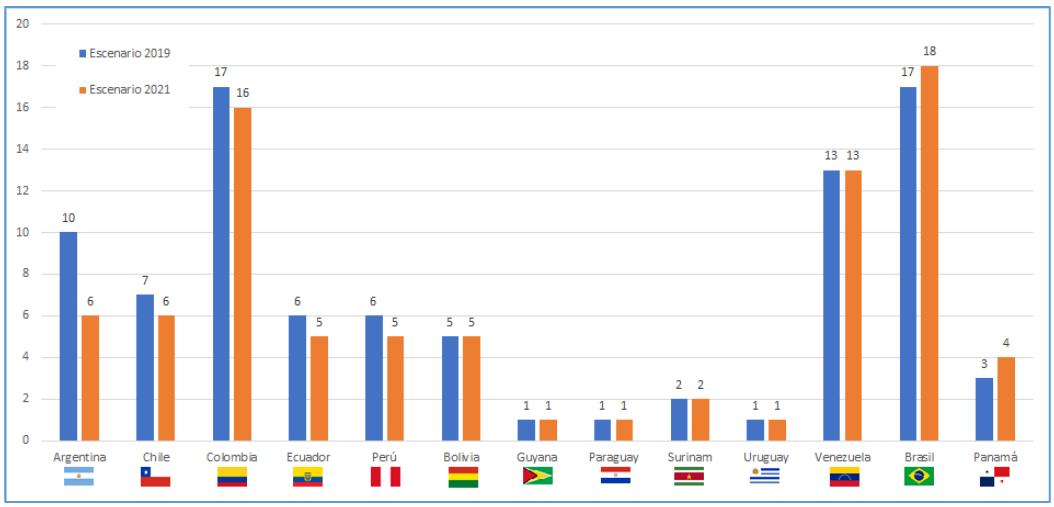


Figura 1. Cantidad de aerolíneas por país.

A su vez, se presenta en la Tabla 2 un resumen de las aerolíneas operativas que dejaron de operar en cada país. El balance global indica la pérdida de 6 aerolíneas en la región SAM.

Tabla 2. Aerolíneas que dejaron de operar y aerolíneas nuevas entre períodos analizados.

PAÍS	AEROLÍNEAS QUE DEJARON DE OPERAR	AEROLÍNEAS NUEVAS	BALANCE
Argentina	Austral; Avianca Argentina; FlyBondi; LATAM	--	-4
Chile	LATAM Chile	--	-1
Colombia	EasyFly Colombia	--	-1
Ecuador	Avioandes	--	-1
Perú	DHL Aero Expreso	--	-1
Bolivia	--	--	0
Guyana	--	--	0
Paraguay	--	--	0
Surinam	--	--	0
Uruguay	--	--	0

PAÍS	AEROLÍNEAS QUE DEJARON DE OPERAR	AEROLÍNEAS NUEVAS	BALANCE
Venezuela	--	--	0
Brasil	Modern Logistics	Omni Taxi Aereo; Sideral Air Cargo; LATAM Cargo	1
Panamá	--	Perú	1
Total	**10**	**4**	**-6**

Aeronaves operativas

Teniendo en cuenta los escenarios temporales establecidos, la cantidad total de aeronaves comerciales radicadas en la región SAM a diciembre del 2019 fue de 1.304, mientras que a febrero de 2021 este número se redujo a 1.203. El detalle de la cantidad de aeronaves por país puede verse detallado en la Tabla 3 y de manera gráfica en la Figura 2.

Tabla 3. Cantidad de aeronaves por país.

PAÍS	CANTIDAD DE AERONAVES AL 31/12/2019	CANTIDAD DE AERONAVES AL 28/02/2021	BALANCE
Brasil	502	472	-30
Argentina	115	93	-22
Panamá	110	91	-19
Chile	142	131	-11
Venezuela	85	77	-8
Ecuador	24	16	-8
Perú	67	63	-4
Surinam	8	6	-2
Uruguay	2	1	-1
Paraguay	4	4	0
Guyana	3	3	0
Colombia	199	201	2
Bolivia	43	45	2
Total	**1.304**	**1.203**	**-101**

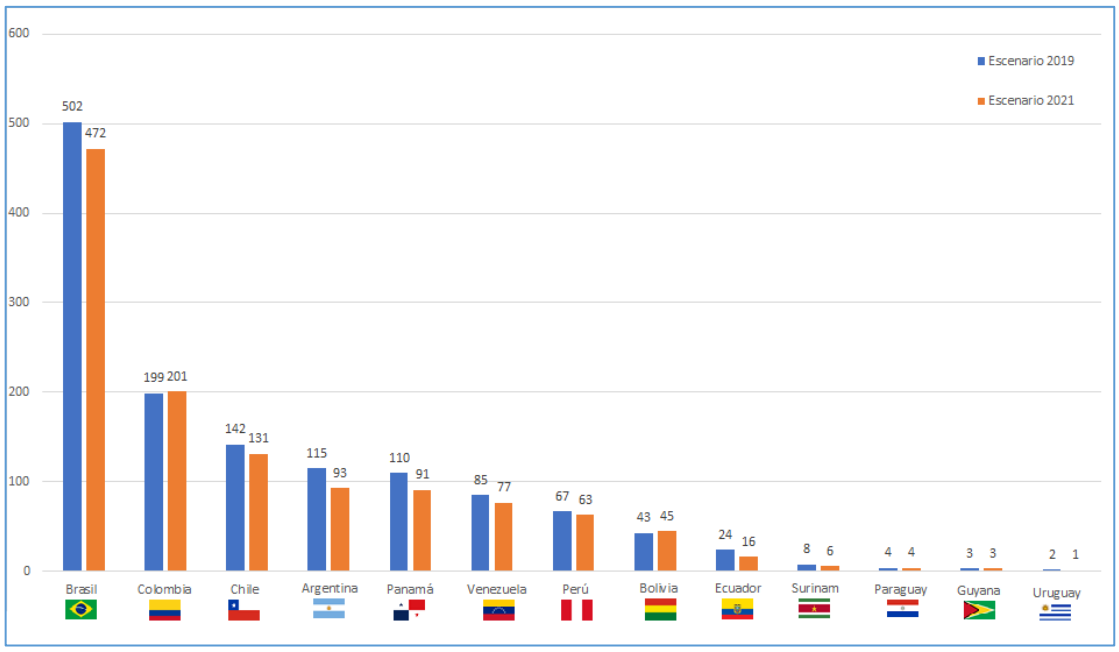


Figura 2. Variación de la cantidad de aeronaves por país.

Con el propósito de identificar cuál fue el modelo de aeronave que más varió en los períodos analizados, se procedió a construir la Tabla 4. En la misma se identifica que dicha aeronave es el Airbus A330 Neo, la cual presentaba 2 unidades a diciembre de 2019 y sufrió un incremento de otras 2 unidades a febrero de 2021.

Tabla 4. Diferencia de cantidad en cada modelo de aeronave.

Modelo	31/12/2019	28/2/2021	Balance	Balance porcentual (respecto al 2019)
Airbus A320	222	186	-36	-16.2%
Boeing 737-800	217	194	-23	-10.6%
Airbus A319	76	59	-17	-22.4%
Boeing 737-700	51	40	-11	-21.6%
Embraer 190	71	62	-9	-12.7%
Airbus A321	59	51	-8	-13.6%
ATR 42	36	29	-7	-19.4%
Boeing 787-9	16	12	-4	-25.0%
MD-82	13	10	-3	-23.1%
CRJ-200	14	11	-3	-21.4%
Boeing 767-300	48	45	-3	-6.3%
Airbus A350	8	6	-2	-25.0%
Embraer 120	11	9	-2	-18.2%
Boeing 737-200	23	21	-2	-8.7%
Boeing 737-300	27	25	-2	-7.4%
Airbus A330	33	31	-2	-6.1%
ATR 72	64	62	-2	-3.1%
Boeing 777-200	2	1	-1	-50.0%

Modelo	31/12/2019	28/2/2021	Balance	Balance porcentual (respecto al 2019)
Airbus A340	3	2	-1	-33.3%
Fokker 100	3	2	-1	-33.3%
Fokker 70	6	5	-1	-16.7%
Airbus A300	2	2	0	0.0%
Boeing 737-400	29	29	0	0.0%
Boeing 737-500	6	6	0	0.0%
Boeing 757-200	4	4	0	0.0%
Boeing 777-300	10	10	0	0.0%
Boeing 787-8	23	23	0	0.0%
Dash 8	7	7	0	0.0%
DC-10	1	1	0	0.0%
Embraer 145	6	6	0	0.0%
Embraer 170	2	2	0	0.0%
Fokker 50	11	11	0	0.0%
MD-81	4	4	0	0.0%
BAe 146 / Avro RJ	19	20	1	5.3%
Boeing 737-MAX 8	12	13	1	8.3%
MD-83	4	5	1	25.0%
Embraer 135	2	3	1	50.0%
Embraer 195	54	56	2	3.7%
Airbus A321 Neo	3	5	2	66.7%
Airbus A330 Neo	2	4	2	100.0%
Boeing 737-MAX 9	6	11	5	83.3%
Airbus A320 Neo	77	89	12	15.6%
Beech 1900D	17(*)	29	12(*)	70.6%
Total	**1.304**	**1.203**	**-101**	**-7.7%**

(*) Para realizar el balance de cuantas aeronaves entraron o salieron de operación en el intervalo de tiempo analizado, se hizo la diferencia entre los datos disponibles a diciembre de 2019 y los presentes a febrero de 2021. Vale comentar que al realizar dicho análisis se observaron ciertas diferencias respecto de la información presente en la base de datos a diciembre de 2019. Actualmente figuran datos de aeronaves activas a 2019 que no están presentes en el estudio precedente (escenario E2019). Este es el caso concreto del modelo Beech 1900D, en donde la fuente ha incorporado en sus registros 12 nuevas aeronaves (de las cuales 11 pertenecen a la compañía “SEARC”, radicada en Colombia y una perteneciente a la aerolínea “Aero Transporte” en Perú), que si bien están activas desde antes del 2019, al momento de realizar el relevamiento de datos no estaban en dicho sistema.

Distribución según ancho de fuselaje

Con el propósito de poder caracterizar el ancho de fuselaje, se procedió a realizar el análisis que se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de fuselaje ancho y fuselaje angosto en los escenarios analizados.

Fuselaje	31/12/2019	28/2/2021	Balance	Balance (porcentaje)
NB	1.156	1.066	-90	-7,78%
WB	148	137	-11	-7,43%
Total	**1.304**	**1.203**	**-101**	**-7,74%**

Como puede observarse, dejaron de operar 90 aeronaves NB (correspondientes a un 7,78% del total de aeronaves NB presentes en el 2019) y un total de 11 aeronaves WB (lo que representa un 7,43% de las aeronaves WB presentes en 2019).

CONCLUSIONES

A continuación, se resumen las principales observaciones y conclusiones que arrojaron los análisis realizados sobre los resultados del procesamiento de la información disponible, contemplando que las mismas tienen como fechas de referencia al 31 de diciembre de 2019 y al 28 de febrero de 2021.

- La información aquí volcada solo resulta válida en el contexto del presente estudio contemplando la totalidad del mismo, pero prestando atención a las condiciones de contorno existentes relativas a las fuentes de información, las hipótesis de trabajo asumidas y los criterios establecidos para el procesamiento y análisis de la información recolectada.

- En el período de análisis hubieron diversas aerolíneas que dejaron de operar, y otras que se incorporaron al mercado. El saldo total indica que en la región dejaron de operar 6 aerolíneas. El país que presentó mayor impacto fue Argentina, con 6 (seis) aerolíneas inoperativas. Colombia, Chile, Ecuador y Perú sufrieron la pérdida de una única aerolínea, mientras que Panamá agregó una de ellas a sus operaciones. Brasil, por su parte, si bien sufrió la pérdida de 2 aerolíneas, incorporó otras 3 quedando un saldo resultante de 1 aerolínea adicional. El resto de los países se mantuvo sin cambios.

- El modelo de aeronave que mayor impactó acusó fue el A320 que presentó una disminución operativa de 36 unidades (el cual representa un balance negativo de 16,2% frente a la totalidad de dichos modelos presentes al 12 del 2019.

- En la región dejaron de operar un total de 101 aeronaves (lo que representa un 7,74% menos que las registradas a diciembre de 2019). El país que mayor impacto presentó fue Brasil, con una pérdida de 30 aeronaves, seguido de Argentina y Panamá con una disminución de 22 y 19 aeronaves respectivamente. Cabe destacar que los únicos dos países que incrementaron sus flotas fueron Colombia y Bolivia, incorporando dos aeronaves cada uno.

- Respecto de los anchos de fuselaje, los resultados muestran una disminución porcentual similar de aeronaves fuselaje angosto (NB) y fuselaje ancho (WB) respecto de las operativas a diciembre de 2019. En concreto, se perdieron un total de 90

aeronaves NB (representando un 7,78%), mientras que la disminución de aeronaves WB fue de 11 (representando un 7,43%).

- Finalmente, indicar que los resultados aquí presentados deben ser convalidados por las respectivas autoridades aeronáuticas de cada país que integra la región.

Bibliografía

[1] Airfleets. Disponible en internet: www.airfleets.es.
[2] Flightradar 24. Disponible en internet: www.flightradar24.com.
[3] Planespotters. Disponible en internet: www.planespotters.net.

Estudio del efecto del cambio de la rugosidad en las palas de un aerogenerador de baja potencia

Eduardo. N. Maggi[1]; Ariel.N. Gamarra[1]

[1]UIDET LaCLyFA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP, ariel.gamarra@ing.unlp.edu.ar

Palabras Clave: aerogenerador, túnel de viento, aerodinámica.

INTRODUCCIÓN

Un aerogenerador es un dispositivo mecánico que extrae energía cinética del aire y la convierte en energía mecánica, que es generalmente aprovechada para producir electricidad.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores, pero el más común es el Aerogenerador de Eje Horizontal (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine). En esta configuración el eje rotacional del mismo está orientado horizontalmente, como se muestra en la Figura 1.

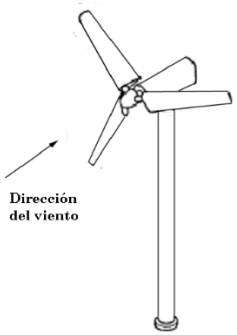


Figura 1. Aerogenerador de eje horizontal

Los generadores eólicos de baja potencia son aquellos que entregan hasta 100 kW de potencia, utilizados principalmente para abastecer viviendas, así como establecimientos de pequeño tamaño, reservándose casi exclusivamente al ámbito privado.

Mediante la utilización de estos equipos, por si mismos o empleados en sistemas híbridos que los combinan con paneles solares, una gran cantidad de propietarios de viviendas, agricultores y propietarios de pequeñas empresas a lo largo del país serían capaces de generar su propia electricidad a partir de recursos renovables sostenibles. Teniendo la libertad de elegir cómo se produce electricidad y visualizar qué impacto económico-ambiental genera su consumo.

Se estima que, a finales de 2018, en todo el mundo, se encontraban en funcionamiento más de 1 millón de aerogeneradores de baja potencia con capacidad para generar un total de al menos 1,7 GW [1].

Desde el punto de vista de la dinámica de fluidos, la rugosidad puede ser definida como una extensión superficial de un cuerpo que penetra en la capa viscosa del fluido en contacto con la pared del mismo, denominada capa límite. Estos elementos aumentan la superficie de interacción entre fluido y sólido, provocando irregularidades y perturbando el campo de flujo dentro de dicha capa. En consecuencia, aumenta la transferencia de energía entre la superficie y el fluido, lo que afecta el rendimiento aerodinámico de los perfiles aerodinámicos que conforman cada aspa o pala.

De acuerdo con lo explicado por Schlichting [2], pequeñas fluctuaciones en los parámetros del flujo como la velocidad, presión, densidad y temperatura pueden

alcanzar valores que llegan a afectar las características del flujo, cosa que puede llevarlo del régimen laminar al turbulento.

Para cuantificar esta pérdida de eficiencia debido a la rugosidad, distintos investigadores llevan a cabo estudios experimentales en túneles de viento y simulaciones numéricas con palas de aerogeneradores y perfiles comúnmente utilizados.

Ferrer y Munduate [3] adosaron un patrón de insectos sobre las palas con un tamaño de rugosidad de k/c = 0,0019, pudiendo observar que el coeficiente de sustentación disminuye, especialmente para valores de ángulo de ataque elevados tanto negativos como positivos (Figura 2). Por su parte la resistencia viscosa se incrementa con la rugosidad, mientras la resistencia de presión se ve afectada a altos ángulos de ataque debido a que se produce la separación del flujo.

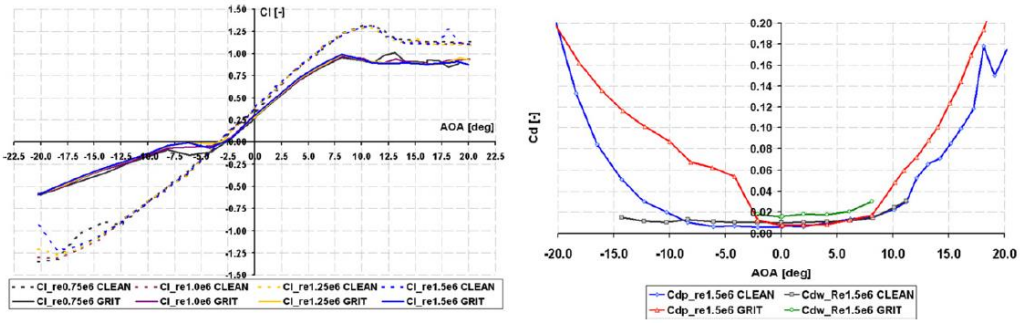


Figura 2. Curvas de los coeficientes de sustentación y resistencia para configuraciones con y sin rugosidad

Todo esto mencionado anteriormente lleva a pérdidas eficiencia en el aerogenerador, con su consecuente reducción en la energía extraída al viento. Un buen ejemplo de la pérdida de energía es proporcionado por Khalfallah y Koliubb [4], quienes informan que tras nueve meses de operación existe una pérdida de potencia media del 50% debido a la acumulación de polvo en los perfiles de aerogeneradores horizontales en un parque eólico de Hurghada, Egipto. Los mismos concluyen que la variabilidad de la curva de potencia aumenta cuando aumenta la rugosidad de la superficie de la pala y sugieren limpiar el polvo de la superficie de las palas durante intervalos cortos para disminuir la alta reducción de potencia de salida.

Dada la problemática planteada, el objetivo de este trabajo es estimar los cambios que sufre el rendimiento de un aerogenerador de baja potencia al acumular suciedad. Además, se estudia el efecto que tiene la forma de los conos delante del generador.

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar el aerogenerador en condiciones ideales llevando a cabo las correcciones necesarias de acuerdo con las condiciones de ensayo.
- Analizar los cambios en la energía extraída en cada condición y establecer relaciones con las condiciones de rugosidad de las palas.
- Analizar el efecto de la inclusión de conos en el aerogenerador, así como el de la geometría de estos.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Se utiliza un aerogenerador de eje horizontal de tres palas perteneciente a la UIDET LaCLyFA. Se plantean 7 condiciones de rugosidad distintas y se diseñan 2 conos, además de los casos en los que no se emplea cono.

El trabajo se limita a analizar lo establecido anteriormente para un único aerogenerador, analizando las relaciones en función de la velocidad de viento del túnel y no variando la

configuración de las palas ni utilizando otros sistemas, que permiten analizar los mismos efectos en relación con otros parámetros.

Para simular distintas condiciones de rugosidad sobre las palas y evaluar así los cambios producidos en el desempeño del generador, se adhirieron lijas en la posición en la que habitualmente se impregnan las partículas de polvo o insectos, teniendo en cuenta la distribución de la cuerda a lo largo de la envergadura.

En este estudio el incremento de rugosidad se hizo de manera progresiva, contando con 4 casos en total. Dado que el porcentaje de cuerda en donde se ubica la suciedad influye en la eficiencia del aerogenerador, las lijas cubrieron el 0, 15, 25 y 40 por ciento de la cuerda, a lo largo de toda la envergadura de las palas.



Figura 3. Vista frontal del aerogenerador con lijas que ocupan el 15% de la cuerda

Se utilizaron 2 alturas de rugosidad, lo que puede representar a la suciedad acumulada en dos momentos diferentes o en diferentes condiciones. Para esto se emplearon lijas de granos N°180 y 220 fabricados por 3M, con lo que se puede asegurar un diámetro medio de grano de 82 y 69 µm respectivamente.

En el desarrollo del presente trabajo se buscó obtener las mediciones de potencia eléctrica y mecánica, que se genera al exponer un aerogenerador a una corriente de aire, como la que puede generarse en el túnel de viento Dr. Jorge Colman Lerner. Para ello se utilizo el aerogenerador que se ve en la Figura 4, un tripala con un diámetro de 1.47 m capaz de generar una potencia de 800W a 1000 rpm



Figura 4. Aerogenerador utilizado

La potencia mecánica se midió mediante un torquímetro conectado al eje del generador mediante acoples flexibles. Para medir la potencia eléctrica y controlar la velocidad angular del aerogenerador durante la realización de los ensayos, se colocó en el circuito

de ensayos una impedancia de carga a la salida del aerogenerador a través de la conexión de un banco de resistencias (se utilizaron dos cargas, de 0,5 Ω y 2 Ω).

Con el objetivo de comprobar en primer lugar si el efecto de los conos es positivo, y en segundo lugar el efecto de relación entre el largo de los conos y su radio, se imprimieron en 3D y se probaron dos conos parabólicos con un radio de 8.55 cm. El cono corto tiene una relación L/R de 66% y por su parte el largo tiene una longitud igual al radio.

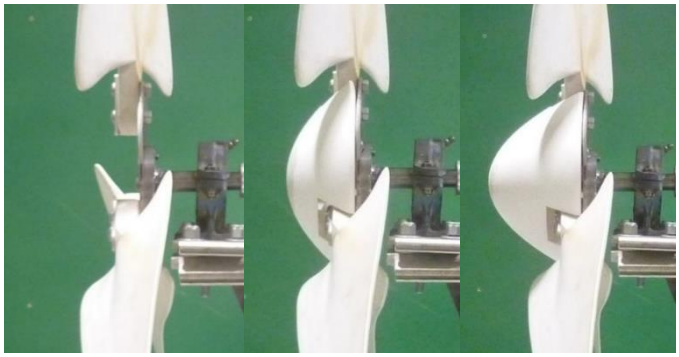


Figura 5. Conos utilizados

Todos los resultados fueron corregidos debido a la interferencia generada por el generador con las paredes del túnel. Para ello se midió la velocidad del viento en 2 posiciones dentro del túnel, una cercana y una lejana al generador y se utilizó la siguiente expresión para corregir los coeficientes de potencia.

$$C_{Pc} = C_{Pt}\left(\frac{U_t}{U_\infty}\right)^3$$

CONCLUSIONES

En primer lugar, se muestran los resultados para el aerogenerador sin rugosidad y sin cono. Se puede observar que al aplicar el factor de corrección correspondiente las medidas del Coeficiente de Potencia disminuyen, esto se debe al confinamiento de aire que ofrece el túnel de viento, haciendo que la performance del aerogenerador sea mejor.

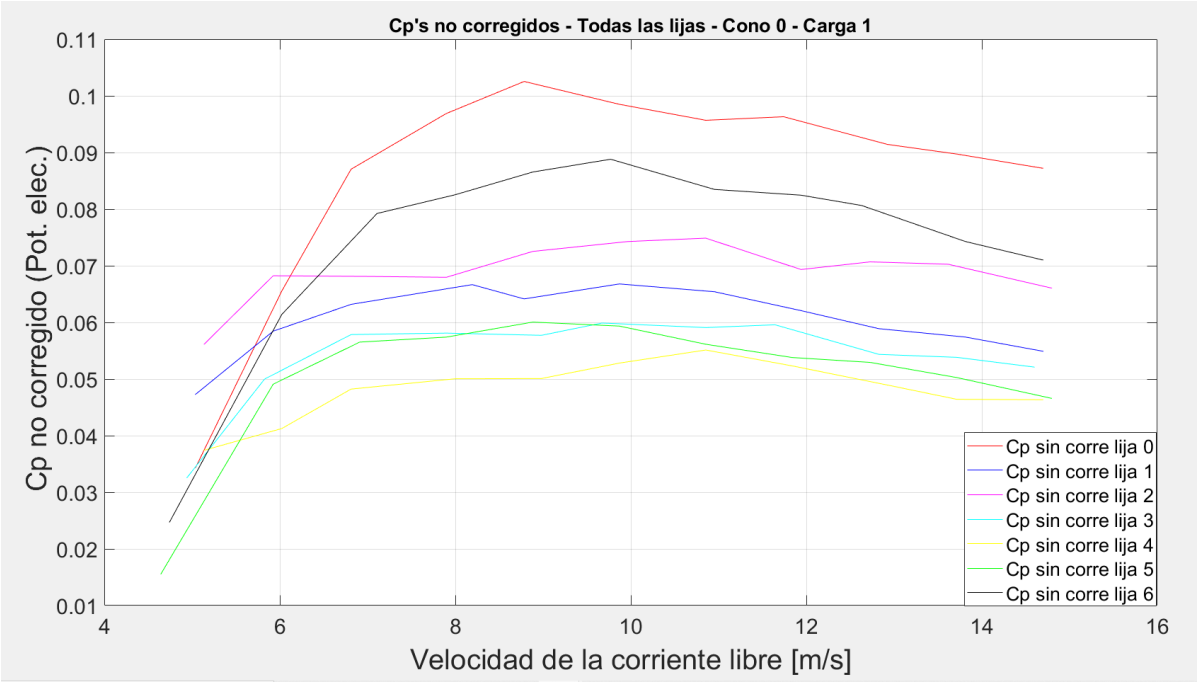


Figura 6. Coeficientes de potencia sin corregir

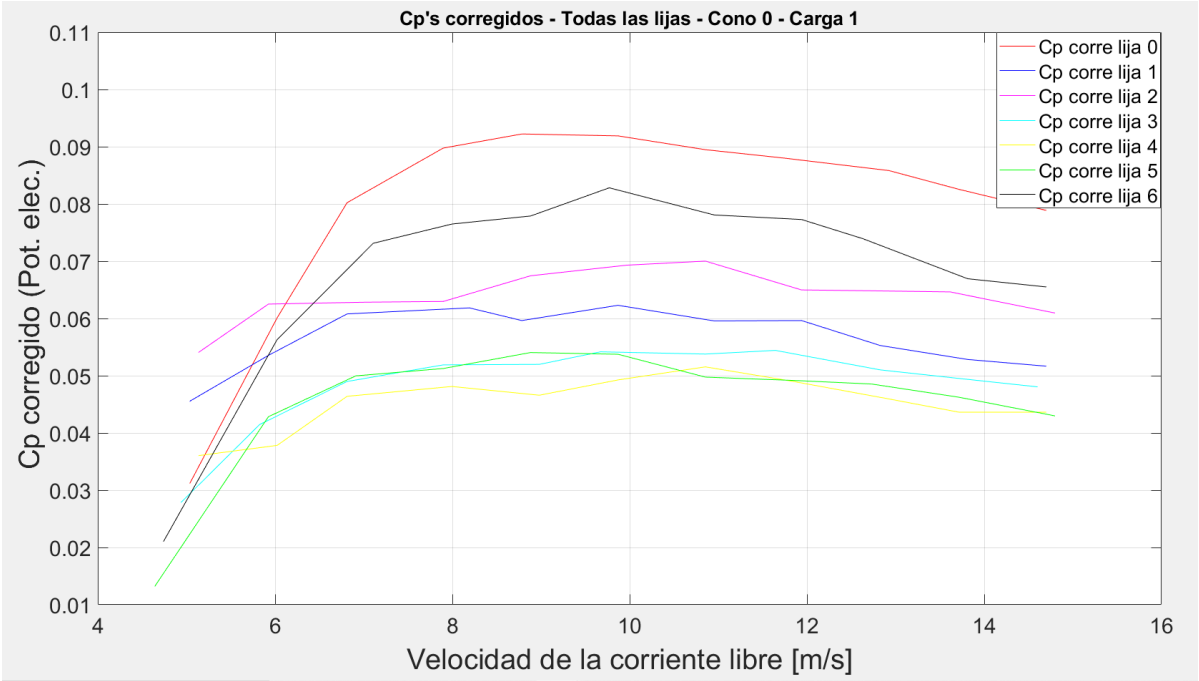


Figura 7. Coeficientes de potencia corregidos

La potencia mecánica máxima medida es de 523 W, en cambio la potencia eléctrica máxima entregada por aerogenerador es de 311 W (esto se debe al bajo rendimiento mecánico-eléctrico del aerogenerador en estudio).

A modo de ejemplo se muestran los resultados de coeficiente de potencia para el aerogenerador sin cono para 1 carga eléctrica en función de la velocidad para la lija 180 en los 3 porcentajes de cuerda.

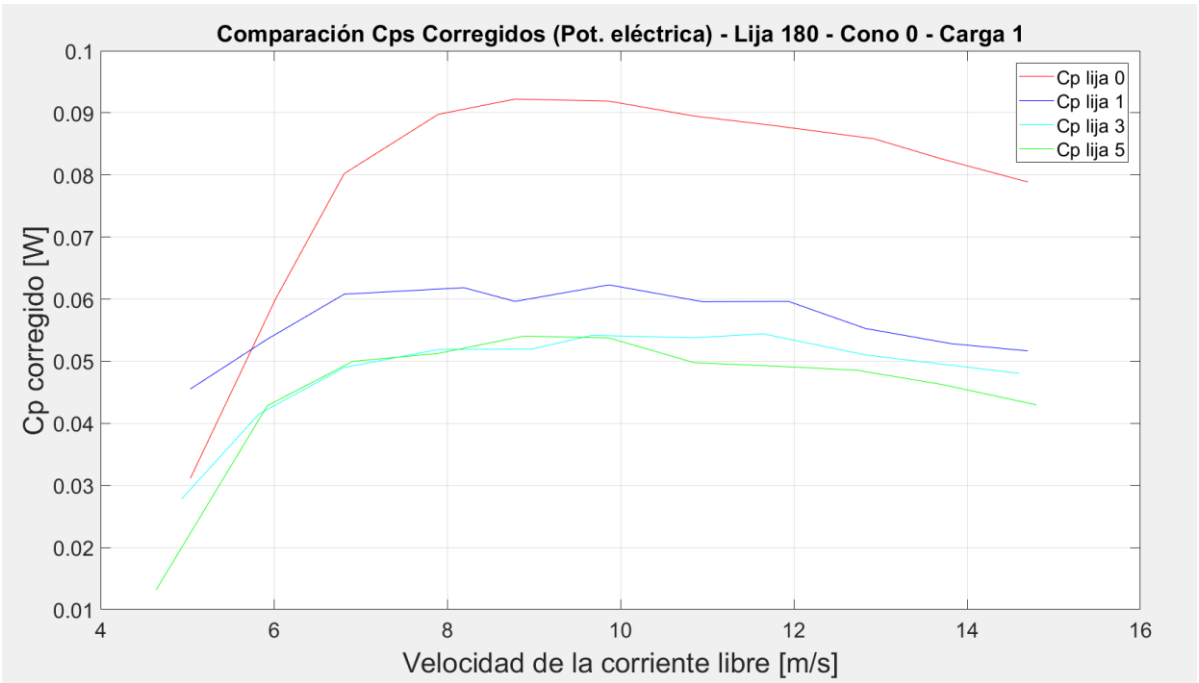


Figura 8. Coeficientes de potencia - Sin lijas y con lija 180 - Sin cono - Carga 1

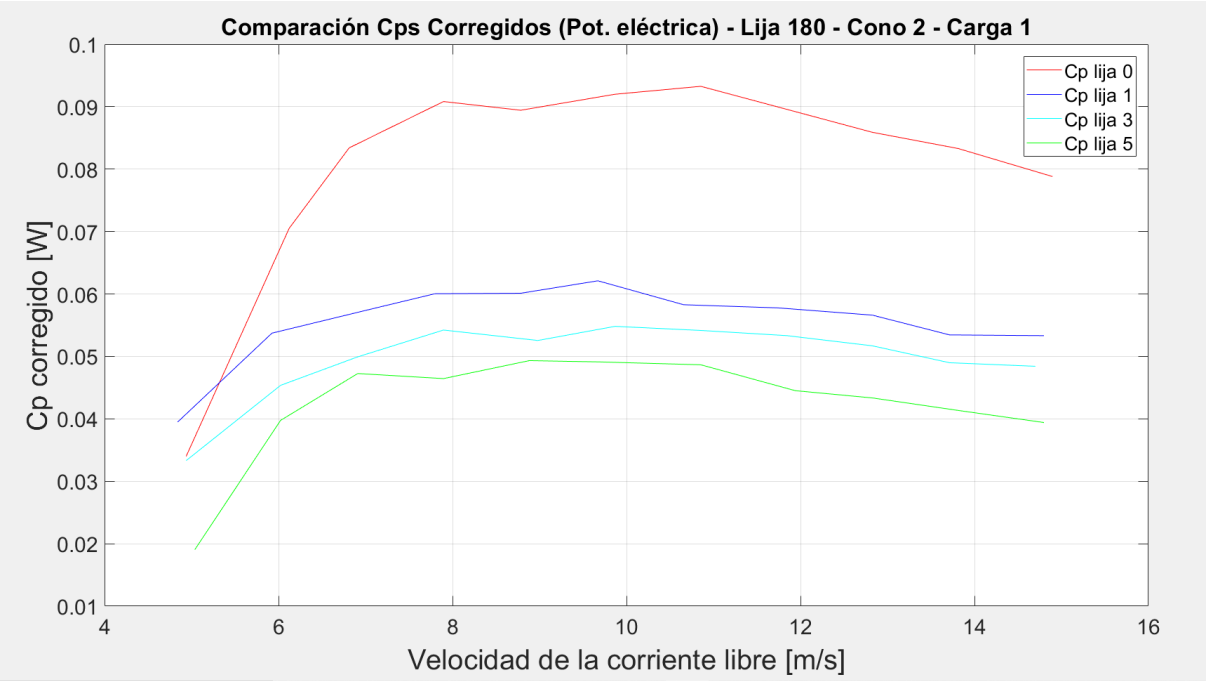


Figura 9. Coeficientes de potencia - Sin lijas y con lija 180 - Cono 2 - Carga 1

En todos los ensayos se observa que, independientemente del cono y la carga, el coeficiente de potencia disminuye en todos los casos en los que se introduce rugosidad. Además, se comprueba que tanto el incremento de la rugosidad relativa como el del porcentaje de la cuerda ocupada por la rugosidad resulta en un decremento del rendimiento de este aerogenerador.

Además, se pudo observar que, si bien el efecto de los conos es bajo no es nulo, por lo que hay que tenerlos en cuenta a la hora del diseño, dado que el incremento de potencia que estos traen aparejado puede terminar beneficiando a los usuarios desde el punto de vista económico.

Bibliografía

[1] U. S. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, «Distributed Wind Market Report,» 2018

[2] Schlichting H., «Boundary layer theory,» 1979.

[3] Ferrer E, Munduate X., «CFD predictions of transition and distributed roughness over a wind turbine airfoil,» 2009.

[4] Khalafallah & Koliub, «Effect of dust on the performance of wind turbines,» 2007.

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RIGIDEZ DE UNA RUEDA

Pasquevich, Facundo [(1)]. Lang, Osvaldo [(1)]. Martínez del Pezzo, Andrés [(1)]. Bottani, Asdrubal [(1)]. Actis, Marcos [(1)].

Centro tecnológico Aeroespacial (CTA). Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados (GEMA). Departamento de Aeronáutica. Facultad de Ingeniería. UNLP. CP 1900.

Sistema tierra, base de lanzamiento, carro de trasporte, ensayo experimental, rigidez de las ruedas.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentará el ensayo realizado para determinar la rigidez de un conjunto de rueda armada, considerando la cubierta y la llanta, variando la presión de inflado de la cubierta, de manera de determinar cuál será la configuración más adecuada para utilizar en el diseño de un carro de trasporte de un cohete.

Para otorgarle sencillez constructiva y facilitar la logística, al diseñar un carro de transporte de un cohete de pequeño a mediano porte, resulta favorable asignarle no sólo la función del traslado propiamente dicho, sino también la de posicionar al cohete en el sitio de lanzamiento, realizar el izaje, y permitir el lanzamiento. Para que sea funcional en todas estas etapas antes mencionadas, el conjunto debe ser autocontenido por lo cual además del carro mismo, debe poseer una torre de izaje y lanzamiento, una base de sujeción del cohete al ser verticalizado, previo al lanzamiento y un sistema de izaje de accionamiento eléctrico o hidráulico entre otros accesorios menores asociados a cada etapa. En base a las dimensiones principales del cohete, el cual presenta una geometría esbelta, resulta una solución muy útil que el conjunto antes mencionado cuente con varios ejes (más de tres, por ejemplo), de forma de repartir la carga en forma más eficiente, permitiendo ahorrar materiales, al no requerirse una estructura tan rígida como la que sería necesaria si se eligiera una solución de solo dos ejes. Al optar por la solución de ejes múltiples, para cada uno de los estados de carga que surgen en las diferentes etapas, desde el traslado hasta el lanzamiento, se define un sistema hiperestático diferente, si consideramos que todas las cargas que debe soportar el carro se trasladan al suelo a través de los diversos ejes de las ruedas. Por lo tanto, al tratarse de un sistema hiperestático, la rigidez de los diferentes componentes del sistema juega un papel fundamental en la repartición de los esfuerzos. De esto surge la necesidad de conocer la rigidez de la vinculación de la estructura (el carro y todos los elementos accesorios además del cohete) al suelo o sea las ruedas, en razón que no constituyen apoyos infinitamente rígidos. Introducir esta rigidez en los modelos de análisis permite evaluar una repartición de cargas en las diferentes ruedas del conjunto más equitativa que considerar a tales apoyos infinitamente rígidos.

En la Figura 1 se presenta un ejemplo del conjunto descrito anteriormente.

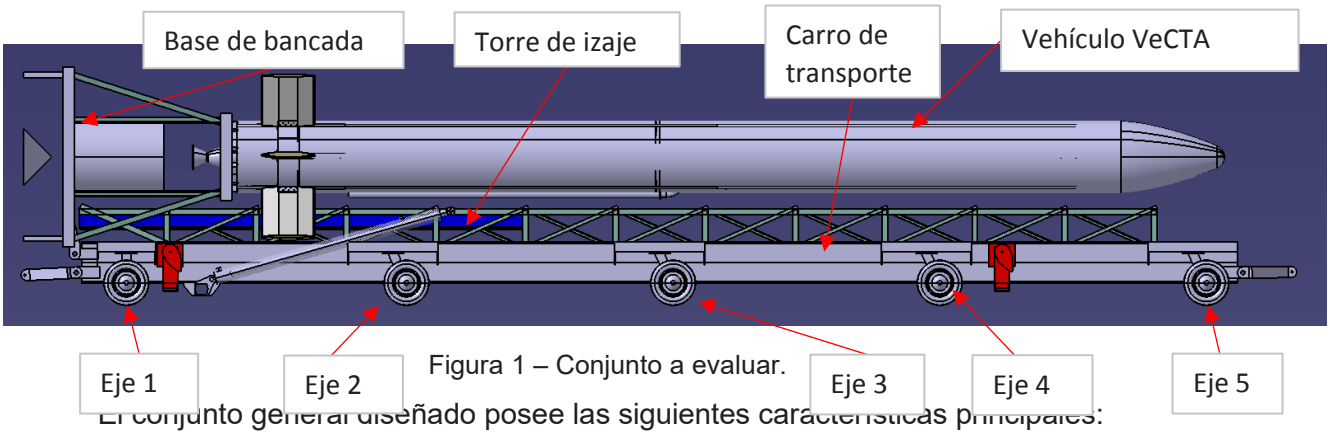


Figura 1 – Conjunto a evaluar.

El conjunto general diseñado posee las siguientes características principales:

a. Ancho del carro (sin guardabarros): 800 mm.
b. Largo del carro: 10.300 mm.
c. Largo de la torre: 10.300 mm.
d. Largo de vehículo: 8.884 mm.
e. Peso de la torre: 400 daN.
f. Peso del vehículo vacío: 600 daN.
g. Peso de la bancada: 450 daN.

DESARROLLO

Para realizar el ensayo se montó la rueda en un soporte en forma de horquilla construido específicamente para el ensayo y se lo colocó en una máquina de compresión. Por una cuestión de seguridad, se encerró a la rueda en una jaula, para que en el caso que alguna parte se rompiera durante el ensayo, quedara confinada dentro de la jaula. En la figura 2 se aprecia el conjunto montado en la máquina de ensayos, con y sin la jaula de seguridad. Como resultado secundario se buscó determinar el coeficiente de seguridad a la rotura de la rueda.



Figura 2 – Dispositivo de ensayo.

Se ejerció una fuerza de compresión a la horquilla, la que cargó la rueda en forma radial registrando la fuerza ejercida y el desplazamiento correspondiente.

La rueda ensayada se aprecia en la figura 3.



Figura 3 – Rueda inflable.

Las características de la rueda ensayada son:

1. Cubierta Marca HOFER modelo CU4008 (400x8)
2. Diámetro: 400 mm.
3. Ancho: 100 mm
4. Masa metálica
5. Carga máxima declarada: 225 daN.
6. Presión máxima: 248 kPa (36 PSI).

Para conocer la dependencia de la rigidez de la rueda con la presión de inflado se ensayó un primer conjunto con tres presiones diferentes: 172 kPa (25 PSI), 206 kPa (30 PSI) y 241 kPa (35 PSI). Los ensayos a 172 kPa (25 PSI) y a 206 kPa (30 PSI) se llevaron a cabo hasta alcanzar una fuerza de 100 daN. Mientras que el ensayo a 241 kPa (35 PSI) se realizó hasta alcanzar 300 daN.

Luego, se colocó un segundo conjunto y se realizó el ensayo con una presión de inflado de 241 kPa (35 PSI) hasta alcanzar 350 daN.

El objetivo de ejercer una fuerza mayor a 225 daN (carga máxima admisible) es definir la carga de rotura. Sin embargo, al alcanzar los 300 daN en el primer ensayo y los 350 daN en el segundo ensayo, las ruedas no sufrieron roturas ni daños visibles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 4 a 7 se grafican las curvas de fuerza-desplazamiento de cada uno de los ensayos. En dichas curvas se aprecian entre dos y tres zonas, definidas por colores en función de las cargas aplicadas. La razón de dividir en diferentes zonas es poder ajustar de la mejor manera posible las curvas de tendencia y en consecuencia, obtener una mejor aproximación de la rigidez radial de las ruedas. La primera zona (azul) abarca desde el inicio del ensayo hasta los 45 daN. La segunda (naranja), desde los 45 daN a los 100 daN y la tercera (verde) desde los 100 daN hasta la carga máxima de ensayo.

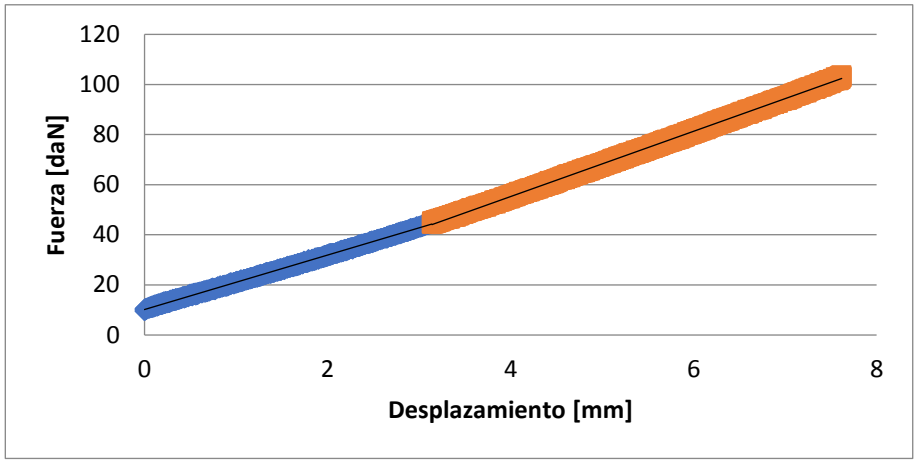


Figura 4 – Ensayo de la primera rueda con una presión de 172 kPa (25 PSI).

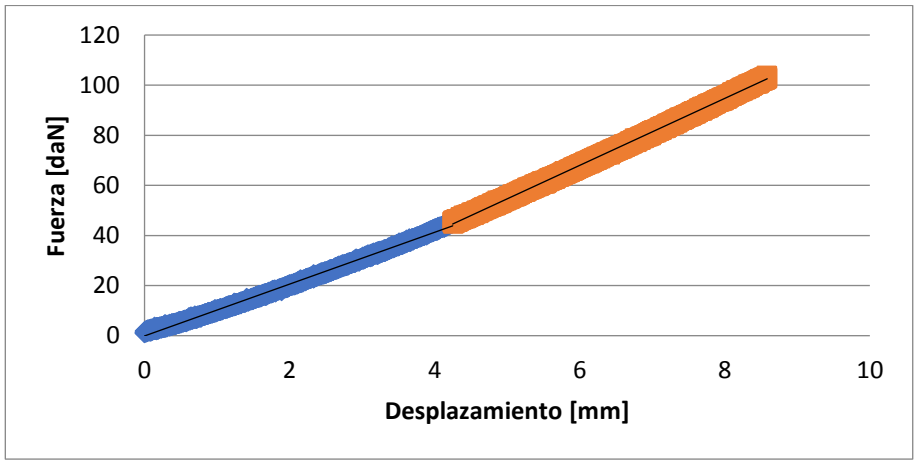


Figura 5 – Ensayo de la primera rueda con una presión de 206 kPa (30 PSI).

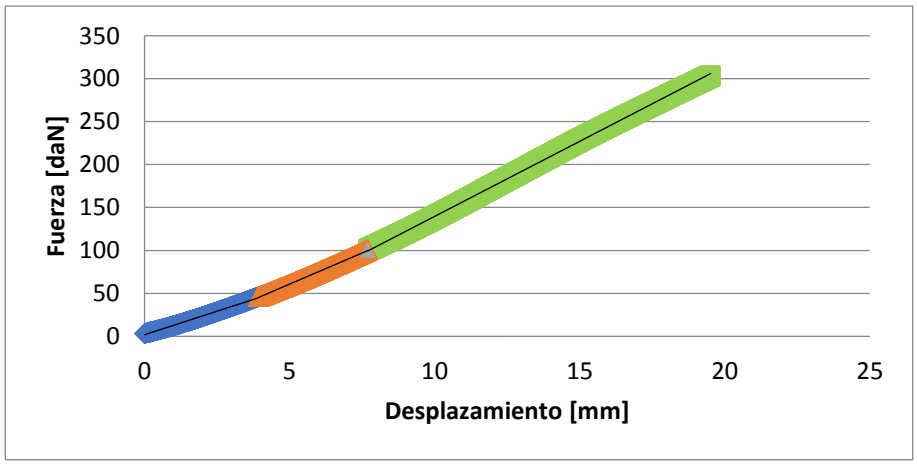


Figura 6 – Ensayo de la primera rueda con una presión de 241 kPa (35 PSI).

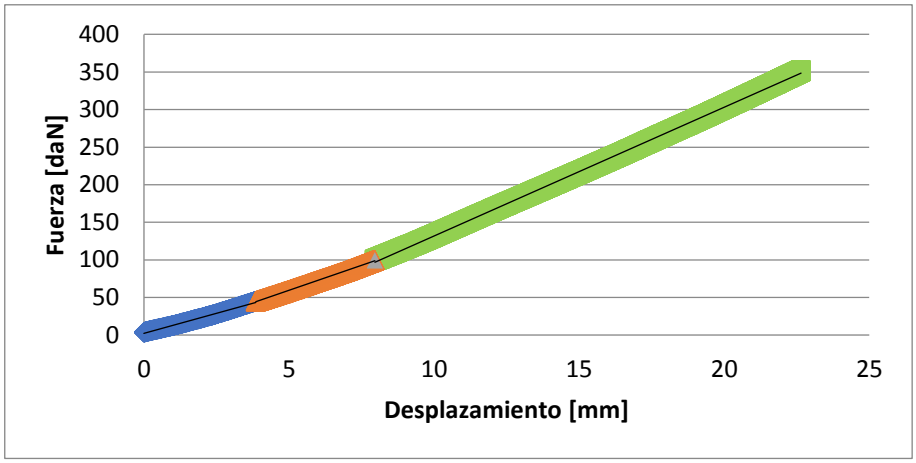


Figura 7 – Ensayo de la segunda rueda con una presión de 241 kPa (35 PSI).

En la Tabla 1 se presentan los valores de rigidez para los diferentes ensayos, diferenciados para cada zona.

	Rigidez [daN/mm]						
Presión de inflado	172 kPa (25 PSI)		206 kPa (30 PSI)		241 kPa (35 PSI)		
Zonas	1	2	1	2	1	2	3
Primera muestra	10,8	13,0	10,3	13,4	11,0	14,5	17,5
Segunda muestra	-		-		10,6	13,3	17,1

Tabla 1- Resultados del ensayo de rigidez.

Si bien no resulta sencillo encontrar valores de comparación en la bibliografía (1) de la rigidez de ruedas, a modo de referencia, en la figura 8, se muestran resultados de ensayos de rigideces radiales de ruedas de uso automotriz del tipo radial con medidas R13x165.

En la Figura 8 se observa un gráfico en el que se indica la variación de la rigidez en función de la presión de inflado de la rueda extraído de dicha bibliografía. Se observa que para una presión de inflado de 241 kPa (35 PSI), se obtiene una rigidez cercana a los 19,0 daN/mm, que considerando que la construcción de las cubiertas ensayadas en la bibliografía difiere en cierta medida de las ensayadas en este trabajo, podemos asumir que los resultados están en ordenes de magnitud comparables.

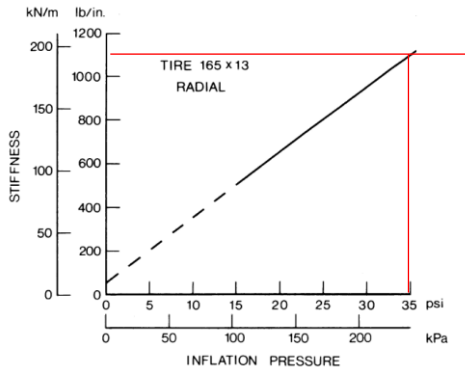


Figura 8 – Resultados de ensayos presentados en J. Y. Wong (2001), Theory of ground vehicles (1).

CONCLUSIONES

El resultado indicado por *J. Y. Wong* para la rigidez radial presenta el mismo orden de magnitud y es comparable con el registrado en nuestro laboratorio, para cargas superiores a los 100 daN.

Debido a que la fuerza que se espera que soporte cada una de las ruedas colocadas en los ejes más solicitados del carro de transporte es superior a los 100 daN, se determina que el ensayo realizado en el laboratorio presenta datos de rigidez aceptables para ser utilizados en los cálculos estructurales.

A su vez, considerando que a mayor rigidez radial mayor es la carga que se ejerce sobre las ruedas más solicitadas, se establece una rigidez un 20% mayor a la obtenida en el ensayo. Es decir, se determina para el diseño que cada rueda tiene una rigidez radial de 21,0 daN/mm.

BIBLIOGRAFÍA

(1) J. Y. Wong (2001), Theory of Ground Vehicles, 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.

ALTERNATIVA DE EVALUACIÓN TEÓRICA MEDIADA POR LAS TICS EN CONTEXTO DE AISLAMIENTO SOCIAL DEBIDO AL COVID 19

Villar, Juan I.[a], **Scarabino Ana E.**[a],
Email: *juanignacio.villar@ing.unlp.edu.ar*
scarabino@ing.unlp.edu.ar

[a] Dto. Aeronáutica., Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Calle 116 e/ 47 y 48 - (1900), Provincia de Buenos Aires, Argentina

Palabras Clave: Transposición didáctica, Acreditación saberes, Evaluación telemática, TICs, Covid 19

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de un curso regular de Mecánica de los Fluidos II, materia de 4 año de ingeniería para las especialidades de Aeronáutica y Aeroespacial, las actividades se centran no solo en el trabajo áulico con desarrollos teóricos y abordajes prácticos vinculados a dicha teoría, sino además en múltiples experiencias en laboratorio, túnel de viento, pruebas de campo, y un trabajo integrador de saberes, que ponen al alumnado en contacto no solo con el equipamiento científico sino con la realidad de adaptar el conocimiento transpuesto en el aula al uso cotidiano de la vida profesional del ingeniero, ya sea en diseño y experimentación como en calibraciones, mediciones o instrumentación de dispositivos para validación.

De esa forma y para poder abordar desde la práctica la incorporación de saberes es que se implementó, hace ya varios años, la actividad de “Cálculo y diseño de cohetes de agua como proyecto didáctico integrador en mecánica de los fluidos” [1] en la cual se brida un escenario que extiende las fronteras del aula a través del planteo de un problema abierto con ciertas normas marco (para asegurar equidad y seguridad en la participación) en el cual los alumnos pueden experimentar diseñar ensayar y validar conocimientos aplicándolos a la realidad de la experimentación, en un marco de competencia grupal buscando soluciones originales a problemas simples y la posibilidad de corroborar la validez de modelos utilizados y criterios adoptados.

El marco de competencia grupal dentro del proyecto del cohete permite, al tiempo que motiva al alumno, establecer un sistema de premios, reconociendo tanto la originalidad como el compromiso con las actividades y la materia.

Este escenario, así como las posibilidades brindadas por el mismo, se vieron fuertemente afectadas e imposibilitadas de ser llevadas a cabo según las medidas adoptadas en la situación de ASPO (aislamiento social preventivo y obligatorio) ante la contingencia Covid 19, puesto que las aristas por las cuales se abordaba la trasposición didáctica alternativa que extiende los límites del aula se vió truncada, reduciendo la cursada en el mejor de las casos a un formato tradicional de oposición y evaluación, pero ahora mediado por la tecnología.

Es así que el reto de adaptación de nuestras prácticas docentes a estos nuevos tiempos de pandemia, no solo fue el dar respuesta inmediata a las necesidades de las estructuras preestablecidas (y no solo en la faz educativa) para dar continuidad en el contexto de la mayor normalidad posible resolviendo en el camino limitaciones tecnológicas, en el saber y las comunicaciones… también se debió lidiar con los aspectos inherentes a la gestión y acreditación de saberes.

En el caso de la trasposición didáctica, el primer gran escollo fue redefinir, y en muchos casos suplantar, el espacio establecido por los límites del aula, pero no solo eso, también fue menester el testear la efectividad y respuesta de estos “nuevos espacios”, donde se tornó evidente la necesidad de establecer un nuevo dialogo y una nueva forma de concebir dicha trasposición didáctica para muchas materias en las que la enseñanza medida por las TICs estaba lejos de ser una realidad.

Por otra parte aún más importante, puesto que la universidad es responsable no solo de la formación de sus profesionales sino de otorgar títulos habilitantes, es que emergió la necesidad de una forma alternativa válida para la acreditación de saberes, puesto que el alumnado debe dar cuenta de su

trayectoria formal en la materia que forma parte de un todo en su formación profesional.

2. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

De todas las posibilidades de intervención analizadas y considerando qué se perdía en este nuevo contexto, y las potencialidades que permitían las TICs a la hora de evaluar los aspectos incorporados por los alumnos para dar cuenta de la acreditación del saber adquirido, se optó pues por intervenir la forma de evaluación, centrándonos en metodologías innovadoras en evaluación.

En este caso se pretendió reemplazar la evaluación tradicional teórico-práctica por una telemática para la parte práctica similar a la presencial y otra alternativa para la faz teorica en la cual radica la novedad del presente método.

El dictado

El desarrollo de la materia se valió del uso de soportes digitales para las clases que admitían un modelo asincrónico, al tiempo que la vinculación del alumnado con los docentes y auxiliares fue manifiesta en sesiones Meet/ Zoom sincrónicas planteadas a través de las consultas y en el ida y vuelta de entregas prácticas en la plataforma Classroom.

Respecto de las evaluaciones.

- La parte Práctica

Se llevó a cabo dividiendo al alumnado en salas de sesiones de teleconferencia con el plantel docente que, oficiando de contralor y en plataformas virtuales, permitió llevar a cabo la tarea habitual pero de forma remota, donde el alumno por tiempos y de forma secuencial resolvía los problemas presentados ante cámara dando cuenta de identidad y validación de diversas formas.
Esta metodología, se dio en la práctica puntualmente, pero no fue la única ni en ella radica la innovación.

- La parte Teórica

Se les ofreció de forma voluntaria a quienes así lo prefirieran, dar cuenta de los saberes teóricos adquiridos mediante el método innovador de un trabajo optativo (TO) bajo la propuesta de un “TRABAJO OPTATIVO, QUE PERMITIRÁ APROBAR SIN RENDIR LA PARTE TEÓRICA DEL PRIMER MÓDULO DE MECÁNICA DE LOS FLUIDOS 2” (TO).
El acogerse a dicha propuesta les evitaría tener que pasar por una evaluación similar a la práctica pero de contenido teórico en condición de coloquio oral.

¿En qué consistió la nueva propuesta?

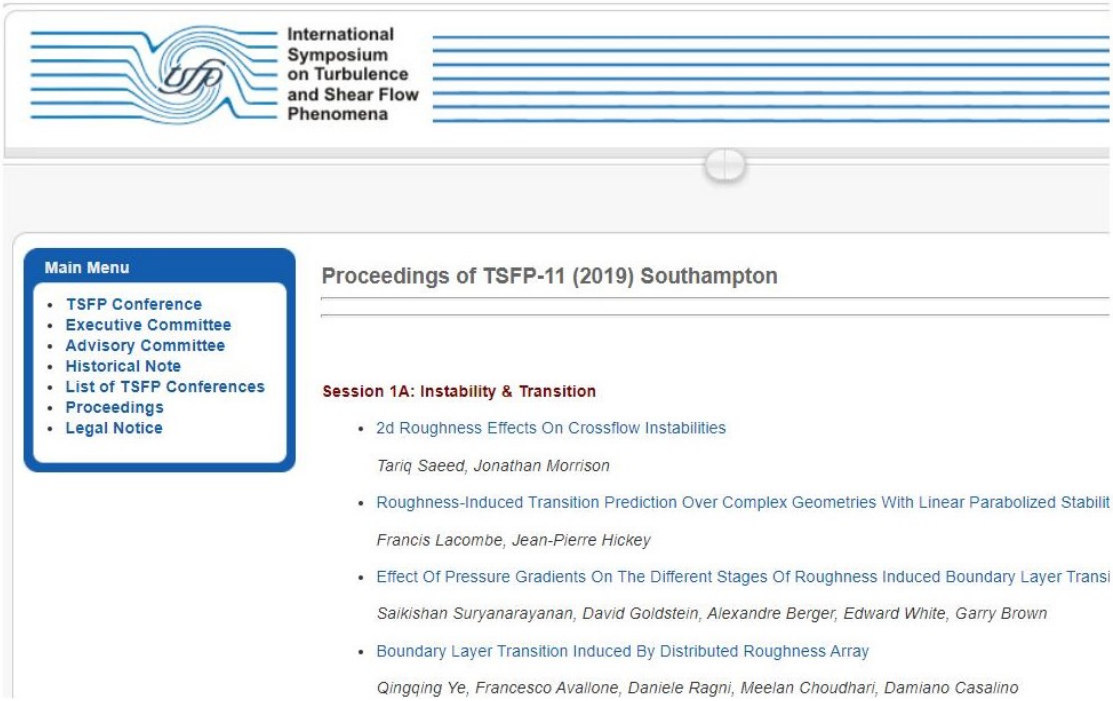
El alumnado, a elección ya sea en grupos de dos o de forma individual y para aprobar la teoría de cada módulo de la materia, debía presentar un trabajo de investigación publicado en un medio científico. Para los temas del primer módulo (Flujos turbulentos, Teoría de Capa Límite y Resistencia Aerodinámica), debían seleccionar un trabajo entre los presentados en el “TSFP 2019 Eleventh International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomenal- Southampton 2019” [2], un congreso internacional que abarcaba de forma específica los temas correspondientes al primer módulo de la materia, con el valor agregado de mostrar investigaciones actuales en esa temática. Para el segundo módulo (Flujos Compresibles subsónicos y supersónicos), se dejó que los alumnos propusieran a la cátedra publicaciones de su interés, siempre y cuando cumplieran con el requisito de presentar alguna innovación o los resultados de investigaciones en la temática del módulo.

En cada módulo, cada grupo le comunicaría a la cátedra el título del trabajo elegido, en los "comentarios" de esta tarea de la plataforma Classroom. Si un grupo elegía un trabajo que ya había sido seleccionado, “reclamado para sí”, por otro grupo, se le adjudicaría al primer grupo en “reclamarlo”, mientras que el segundo debería elegir otro trabajo y anunciar la decisión a la brevedad. El análisis de las publicaciones de dicho simposio debía presentarse en un reporte con formato Power

Point (PPT) que podría incluir audio, e incluso ser presentado como un video, que incluiría

- Cuál es el problema que se abordó.
- Qué metodología se empleó.
- Establecer si los resultados brindan posibilidades concretas de mejoras de performance en un problema (reducción de resistencia, mejoras de eficiencia, etc.) y cuáles serían las dificultades asociadas a su implementación (costos, complejidad técnica, etc.).
- Cuál es la relación con los contenidos del módulo correspondiente de Mecánica de los Fluidos 2.
- Identificar cómo se aplican conceptos, ecuaciones, hipótesis, etc. vistos en la materia.

Se requirió a los alumnos que presentaran el trabajo mediante una plataforma de teleconferencias (Zoom, Webex u otras) para responder preguntas sobre el mismo y la duración de la presentación no debía exceder los 15 minutos.
El plazo para anotarse en esta modalidad y elegir el trabajo a analizar fue de dos semanas desde el momento en que se anunció, al promediar el primer módulo.



Página principal del 11vo simposio de turbulencia en el que estaban disponibles los trabajos entre los que podían optar

La fecha límite de entrega fue coincidente con la de evaluación virtual de la práctica rondando la segunda semana del período de evaluaciones.
La calificación del trabajo se promedió con la que se obtendría en la evaluación práctica para determinar la nota de cada parcial.
Para tener cada parcial aprobado, la práctica debía aprobarse con nota igual o superior a cuatro (4).

En el Caso puntual del curso 2020 a pesar de las medidas de aislamiento y su duración y la necesidad de definir los detalles de cómo se sortearía el escollo de la virtualidad, la matricula no cayó y se mantuvo a pesar de las vicisitudes. Especulamos que el hecho se debió en gran medida a que la materia Mecánica de Fluidos II es continuación natural de Mecánica de Fluidos I, dictada por la misma cátedra y que fuera cursada por los alumnos de forma presencial en 2019. Consideramos que el previo conocimiento mutuo de docentes y estudiantes fue determinante en el compromiso asumido de una y otra parte para poder mantener el dictado de la materia en la virtualidad con el tremendo esfuerzo que esto significó para todos.
De este modo el TO, pese a ser una actividad optativa, tuvo un índice de participación que superó el 75% (solo 6 de 27 se decantaron por la defensa oral), por lo que demostró ser muy positiva con un

alto grado de participación por parte del alumnado evidenciado en porcentaje de quienes se acogieron a la propuesta.
También se interpeló a fin de curso al alumnado con un cuestionario sobre las experiencias, pudiendo optar por realizarlo de forma anónima o no, sobre las dificultades y facilidades halladas en las metodologías telemáticas sincrónicas y asincrónicas propuestas y en particular sobre esta modalidad innovadora de evaluación de la teoría a través del TO y recogeremos aquí algunas de las observaciones más salientes, encontrando como común denominador que todos ellos revalorizaron el espacio de construcción que el aula constituye y la experiencia innovadora pero también la posibilidad de poder revisar las presentaciones teóricas así como las resoluciones de forma asincrónica en video cuantas veces crean necesario.

Destacaron como ventajas el poder adaptar las cursadas al trabajo, los foros para poder observar preguntas de compañeros y revisar sus propias prácticas, la disponibilidad de material bibliográfico digitalizado. Como contras observaron no poder realizar laboratorios ni la experiencia del Cohete de agua mencionada previamente, la complejidad de las consultas de forma telemática, la carga adicional para el docente con la generación de material, la imposibilidad de intercambio fluido de ideas etc.
Finalmente respecto de la modalidad Innovadora del TO se los cuestionó sobre los diversos aspectos como ser “que tan dificultoso les fue encontrar una vinculación concreta entre los saberes expresados en la teoría y su correlación con los papers a analizar?”.
Si bien muchos manifestaron que no fue nada fácil, si los motivó en cuanto a lo que les dejó como aprendizaje, a sistematizar el trabajo con tiempo y objetivos claros destacando que cada análisis posterior brindaba nuevas oportunidades de mejora y nuevas relaciones con la teoría.
Por otra parte otros destacaron que este desafío los ayudo a enfrentar la materia al investigar y encontrar campos de aplicación directa a la realidad de los modelos y fenómenos observados, al tiempo que si bien fue “difícil aceptarlo”(sic) destacan la experiencia de ampliar las temáticas por fuera del canon habitual de enseñanza y de los libros al punto de usar las herramientas de la cátedra para ensayar y comparar resultados informados por otros autores dando la oportunidad de entenderlos y reinterpretarlos.
Al indagar qué pros y contras observaron en esta metodología para certificar el aprendizaje de la teoría versus el tradicional, muchos apreciaron la posibilidad de ver las aplicaciones reales, vincular lo aprendido con la investigación y la práctica profesional, que los impulsa mas allá para llegar a nuevos horizontes de entendimiento y de aplicación, aunque como desventaja se corre el riesgo de profundizar demasiado o escapar tangencialmente al tema si los alcances no están bien definidos o entendidos. Si bien en muchos casos no se abordan todos los temas previstos en el módulo teórico se destaca por sobre este hecho la aplicación práctica y valoran la posibilidad que esto brinda en su futuro laboral.
Muchos consideran además que en la metodología tradicional se estudia únicamente para el parcial mientras que a través de esta experiencia se los prepara para la vida profesional y no hallan desatinado el aplicarlo en la cursadas presenciales con la presentación incluida, ya que a lo largo de la carrera (recordemos que están en el primer semestre de cuarto año) fueron pocas las oportunidades de realizar una defensa de forma oral. Otros consideran una posibilidad híbrida que podría contener tanto este espacio de exposición como una evaluación conceptual a través de otro cuestionario para los saberes que complementen aquellos que quedan fuera de discusión en la temática de simposio propuesta.
También puede destacarse como ventaja el contacto de los alumnos con los documentos científicos, y su lenguaje, análisis de casos reales y actuales las últimas líneas de investigación.

3. CONCLUSIONES

El resultado ha sido valorado como muy positivo, tanto por la cátedra como por el alumnado. Como aspecto negativo solamente puede mencionarse que el tiempo destinado por la cátedra a la evaluación excedió por mucho al usual en la presencialidad, ya que el tiempo destinado al análisis de cada presentación y su defensa oral demandaban no menos de cuarenta minutos por cada trabajo.
Las consultas y actividades propuestas y trabajos presentados fueron en muchos casos de excelencia demostrando un acabado dominio de la temática presentada, lo que implícitamente reflejaba el dominio teórico de los temas de la asignatura.
También entendiendo que en la aplicación práctica encontrarán asidero nuevas formas de manejo y compresión de la teoría y su correspondencia con la traslación a la práctica, que de otra manera

quedaría en una demostración que tal vez pierda domino en el tiempo y se diluya entre muchas otras experiencias de la teoría académica es que valorizamos la vivencia.
Quienes así lo interpretaron e intentaron el esfuerzo de hacer suya la explicación del fenómeno estudiado, creemos tienen un doble premio no solo el de entender la teoría que subyace en el trabajo diario y el domino de la misma sino de la transposición de la misma a poder reconstruirla y explicarla como propia radicando allí el mismísimo objetivo de la educación, base para la construcción de futuras ideas propias.

4. BIBLIOGRAFÍA

[1]**VILLAR, J. I. (2014). CÁLCULO Y DISEÑO DE COHETES DE AGUA COMO PROYECTO DIDÁCTICO INTEGRADOR EN MECÁNICA DE LOS FLUIDOS. IN *III CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA AERONÁUTICA (CAIA 3)(LA PLATA 2014)*.**

[2]http://www.tsfp-conference.org/proceedings/proceedings-of-tsfp-11-2019-southampton.html

[3] http://tsfp10.org/TSFP10_program/_program.html

CRITERIOS DE DISEÑO CONCEPTUAL DE LANZADORES SATELITALES PARA INYECCIÓN EN ORBITAS BAJAS

Delnero, Juan S, Marañon Di Leo, Julio; Actis, Marcos & Patanella, Alejandro

Centro Tecnológico Aeroespacial - CTA - Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP - Calle 116 s/n entre 47 y 48, 1900, La Plata, Argentina.

Palabras claves: lanzadores, satélites, trayectoria, orbita baja, performance

Introducción

En la actualidad existe un gran interés por incursionar en el desarrollo espacial por parte de instituciones académicas, industrias, gobiernos, militares, entre otros. El pujante sector de los satélites pequeños requiere un método a medida y rentable para lanzar su carga útil. Los satélites son cada vez más pequeños, dada los avances tecnológicos en diferentes áreas como materiales, electrónica, control, etc. Esto ha disminuido no solo costos en el desarrollo sino también acortar los tiempos de diseño, construcción, ensayos e integración. Las tareas que antes requerían satélites grandes, complejos y caros ahora se pueden llevar a cabo con una unidad que no pese más de 150 kg. Estos pueden tener diferentes fines como comunicación, posicionamiento u observación de la Tierra. Esta reducción de tamaño lleva aparejada una disminución sustancial de los todos los costos asociados al desarrollo y operación de dichos satélites y su puesta en órbita.

El lanzador constituye uno de los principales obstáculos para la puesta en órbita y comercialización de los satélites pequeños. Depender de los lanzadores empleados para los satélites grandes puede significar que los satélites pequeños se conviertan en un subproducto; un satélite pequeño se puede lanzar como una carga útil secundaria o como parte de un grupo de satélites pequeños. Además del costo que esto involucra en este tipo de lanzadores. Lo que se necesita es un sistema de lanzamiento específico y de bajo coste adaptado a las necesidades únicas de los satélites pequeños. Hoy en día están en desarrollo varios tipos de lanzadores satelitales denominados pequeños con el objetivo de poder inyectar en orbitas bajas (LEO – Low Earth Orbit), cargas útiles no mayores a 150 Kg y no depender de grandes lanzadores para tal fin. El objetivo de este trabajo es el de mostrar un procedimiento y criterios de diseño preliminar de un lanzador satelital para inyectar una carga paga en la baja orbita.

Desarrollo y Discusión

El desarrollo de tecnologías espaciales ha llevado en la actualidad a que diferentes organismos del estado o privados puedan realizar diferentes tipos de actividades que requieran de una plataforma de vuelo suborbital u orbital para concretarlas. Desde estudios de la alta atmosfera, medición mediante sensores remotos y diferentes tipos de instrumental para visualización y medición, así como también calificación de componentes o materiales para vuelo, en caso de vuelos suborbitales o inclusive orbitales como son los satélites. Estos se pueden dividir según sus características o masas, como se puede ver en la tabla 1 en lo referido a pequeños satélites, así como también las capacidades de los lanzadores para llevarlos al espacio. Actualmente hay un auge en lo referente a los denominados pico y nano satélites. Existen infinidad de proyectos de este tipo de satélites para trabajar en forma individual o en grupos con constelaciones de satélites o en bloque conformando una estructura

segmentada. Este tipo de satélites es el que lleva a varios operadores de vehículos lanzadores, así como también muchas empresas a repensar o configurar otro tipo de lanzadores que sean fáciles de operar y sobre todo que tengan un bajo costo. Este se puede medir en costo por kg de carga paga colocada en una órbita determinada.

Tabla 1 Clasificación de pequeños satélites y lanzadores

Smallsats	Wet Mass
Pico-Satellite	≤ 1 kg
Nano-Satellite	1 – 10 kg
Micro-Satellite	11 – 100 kg
Mini-Satellite	101 – 500 kg
Launch Vehicles	**Payload Capacity**
Micro-LV	≤ 500 kg
Small-LV	501 – 2,000 kg
Medium-LV	2,001 – 20,000 kg
Heavy-LV	> 20,000 kg

En la siguiente tabla podemos observar cómo han evolucionado los lanzamientos en los últimos años, así como también cuales corresponden a inyección en orbitas LEO.

Tabla 2 Resumen de Lanzamientos

AÑO	lanzamientos	Fallidos	LEO	Otros
2016	85	3	44	31
2017	90	6	50	40
2018	114	3	67	47
2019	102	5	66	36
2020	114	10	83	31
mayo 2021	46	2	40	6

Para el diseño de estos vehículos lanzadores se debe utilizar un enfoque de diseño multidisciplinario que incluye desde la configuración geométrica hasta la optimización de la trayectoria, materiales, estructuras, las estimaciones de pesos y costos preliminares de diseño y operación. La trayectoria de un lanzador satelital está ligado a muchos factores como son la altura que hay que alcanzar, la velocidad requerida para la inyección, la órbita a la cual se lo inyectará, el lugar de lanzamiento, las cargas máximas que soporta el vehículo lanzador, entre otros. En nuestro diseño preliminar tomaremos una trayectoria que nos permita inyectar una carga paga de 20 kg en forma directa a una órbita LEO de 400km.

El método para determinar la trayectoria será iterativo ya que para verificar la misma es necesario contar con la geometría básica del lanzador que nos permita determinar la resistencia aerodinámica. Y esta depende de la geometría del vehículo y de la trayectoria seguida. En primera instancia se debe determinar cuál es la velocidad de inyección requerida de acuerdo con la altura (h) y la masa a colocar en órbita, suponiendo una órbita circular, conociendo la constante gravitacional (μ). Esta velocidad deberá ser corregida de acuerdo con diferentes variables.

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\mu}{R+h}} = 7.66\ Km/seg$$

Una vez determinada la velocidad a alcanzar se deber hacer un análisis que nos permita encontrar la mejor configuración de etapas del lanzador. Este primer análisis nos permitirá verificar si es posible alcanzar esa orbita con la velocidad con un lanzador de una sola etapa, o deberemos incrementar el número de estas de manera de ir consiguiendo incrementos de velocidades hasta llagar a la requerida. Desde el punto de vista tecnológico, cuantas más etapas tenga el lanzador más complejo será su operación, debido a que habrá encendidos y apagado de motores, separación de etapas entre otras variables que hacen mucho más probable la ocurrencia de errores.

En este punto del desarrollo nos encontramos que para poder realizar las trayectorias y configurar el vehículo es necesario contar con la información referida a los combustibles a utilizar y por ende con el motor cohete de cada etapa. Esta es una de las variables más importantes en el diseño de lanzadores. El diseño, construcción y ensayo del motor cohete es una de las fases más importantes en el desarrollo y el cual determinará las capacidades del lanzador. El empuje (T) estará determinado a partir de conocer el caudal másico, la velocidad efectiva de gases (Ve) y las presiones. La velocidad efectiva estará dada a partir del impulso especifico (Isp). Esta variable es una de las mas importantes en el desarrollo de motores cohete, ya que siempre será deseable conseguir altos valores de Isp que nos permitan generar más empuje para un caudal masico dado. Esta característica dependerá del diseño del motor y de los combustibles utilizados.

$$T = \dot{m}V_e + A_e(P_e - P_\infty) \approx \dot{m}V_e$$

$$V_e = gI_{sp}$$

$$I_{sp} = \frac{T}{\dot{m}g}$$

Una vez conocidos los parámetros del motor se puede determinar de acuerdo con las masas involucradas cual es el incremento de velocidad que se puede obtener en un vehículo espacial a partir de las masas inicial (m_0) y final de este (m_f).

$$\Delta V = V_e \ln \frac{m_0}{m_f}$$

Trabajando con esta expresión uno puede determinar en forma teórica que incremento me puede dar un vehículo espacial de 1 o varias etapas a partir del conocimiento de las masas y Isp de los motores. Está claro que para este punto se deben conocer todas las características de los motores. En nuestro caso el análisis determina que es posible llegar a las condiciones de velocidades requeridas con la utilización de dos etapas.

$$\Delta V_1 = g_0 I_{sp1} \ln \frac{m_0}{m_f} \qquad \Delta V_i = g_0 I_{sp} \ln \left(\frac{m_{0i}}{m_{fi}} \right)$$

Para el diseño del vehículo deberemos definir cuales son las masas involucradas en el vehículo. Definiremos como m_P a la masa de propulsante, m_s a la masa seca y m_L a la carga paga. De acuerdo con la cantidad de etapas se definirá como 1 a las masas de la etapa 1, y con el subíndice 2 a las masas correspondientes a la etapa 2 y así sucesivamente. También se pueden definir varias relaciones entre masas secas, pagas y propulsante. Nos interesa definir el denominado índice estructural (ε).

$$\varepsilon = \frac{m_s}{m_p + m_s}$$

Esta relación nos indica que % de masa se corresponde con la masa seca en función de toda la masa del vehículo. Planteando la condición de dos etapas se puede obtener las siguientes expresiones de incrementos de velocidades que sumadas nos deben dar la velocidad de inyección requerida, teniendo en cuenta las correcciones adecuadas:

$$\Delta V_1 = g_0 I_{sp1} \ln \frac{m_1 + m_2 + m_L}{\varepsilon_1 m_1 + m_2 + m_L}$$

$$\Delta V_2 = g_0 I_{sp2} \ln \frac{m_2 + m_L}{\varepsilon_2 m_2 + m_L}$$

Una de las acciones principales es la de optimizar el vehículo de manera tal de encontrar la mejor distribución de masas y combustibles de ambas etapas. Un problema práctico consiste en, dada la masa de la carga paga mL, así como de la velocidad efectiva a través del impulso específico, y la relación estructural (ε) de una cierta etapa, determinar las masas, de la etapa 1 y la etapa 2 para minimizar la suma de masa total. Esta suma se puede optimizar de manera tal de encontrar cual es la mejor relación de masas de combustible y estructura por etapa, utilizando los índices antes vistos además de los Isp.

En nuestro caso más allá de encontrar cual es la mejor distribución de masas nos centraremos en el diseño a partir de una mirada más tecnológica. Como se vio anteriormente se requiere para el diseño todos los datos correspondientes a la propulsión en ambas etapas. El desarrollo de estas unidades hace que, de acuerdo con el desarrollo tecnológico, materiales, insumos, etc., con que uno cuente o tenga acceso podrá realizar un diseño los más optimo posible. Estas tecnologías se verán reflejadas en los índices estructurales (ε) del proceso de diseño. Uno a priori puede manejar ciertas tecnologías que te permitan en el proceso iterativo de trayectorias ir asumiendo una distribución de pesos por componentes y de esta manera lograr un diseño realista de acuerdo con las capacidades con que se cuente para inyectar la carga paga en la órbita propuesta. Se puede realizar el mejor diseño del vehículo con una trayectoria optimizada para inyectar una carga paga en una órbita determinada, pero si no se cuenta con la tecnología adecuada para el desarrollo de motores, estructuras, materiales, aviónica, control, esto no será posible de concretar.

Del análisis de todas estas variables antes mencionada en base a la experiencia con que se cuenta en las diferentes áreas, como son el desarrollo de materiales, diseño, cálculo y optimización de estructuras, caracterización mediante ensayos, integración entre otros; se configuró un vehículo de dos etapas donde la primera etapa cuenta con el 85% de la masa del vehículo. En esa configuración la trayectoria preliminar encontrada a partir de simulaciones en 3 grados de libertad teniendo en cuenta diferentes variables durante la maniobra de inyección directa, se puede observar en las siguientes figuras donde podemos ver la velocidad, la altura y la presión dinámica en función del tiempo. También en la tabla se puede ver un resumen de los eventos del vehículo.



Figura 1 vehículo lanzador de dos etapas

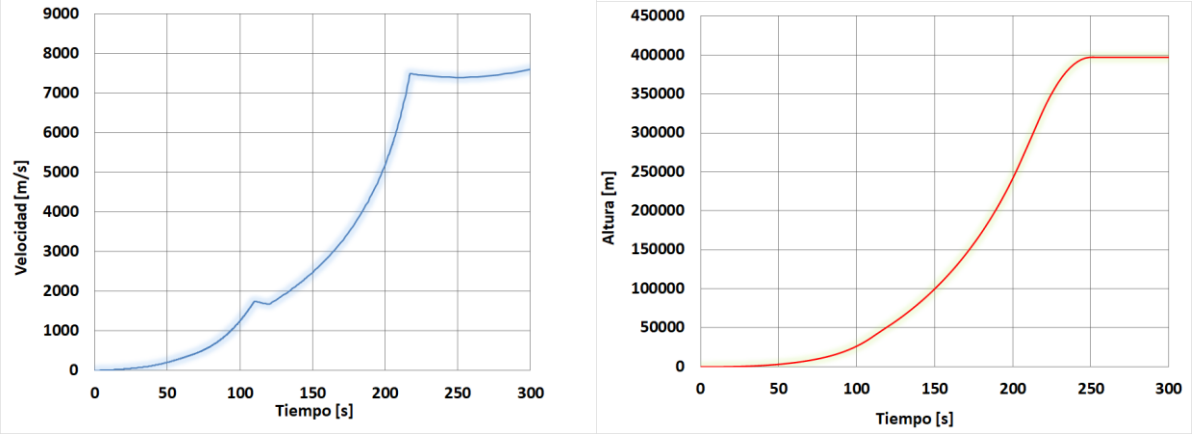


Figura 2 Velocidad y altura en función del tiempo

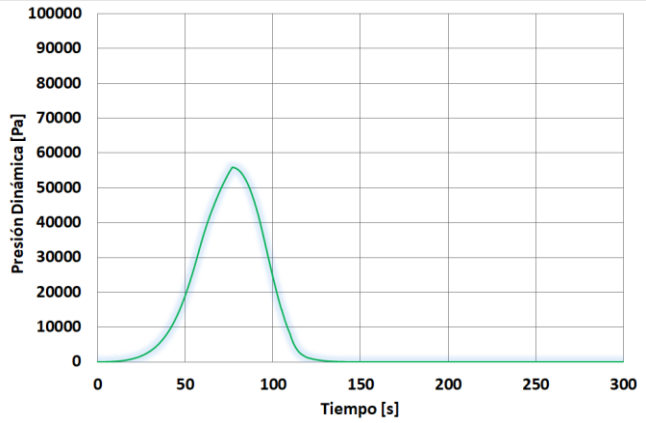


Figura 3 Presión dinámica

En el caso de un vehículo de dos etapas los diferentes eventos que se pueden ir dando cronológicamente pueden ser los siguientes. Debemos tener en cuenta que hay muchas variaciones de acuerdo no solo a las etapas, sino también de acuerdo con las tecnologías utilizadas, donde realizar los MECO, o donde separar etapas, o abrir cofia, maniobras, etc.

Tabla 3 Eventos de vuelo

Condición	Tiempo [s]	Velocidad [m/s]	Nº de Mach	Altitud [m.]
Despegue	0,00	0,00	0,00	0,00
Mach 1	60,34	320,19	1,00	5452,80
MaxQ	77,00	554,40	1,87	11015,00
MECO 1	120,00	1672,57	5,07	51740,60
Separación 2da. Etapa	130,00	1907,83	6,26	65875,30
Altitud Máxima	249,02	7405,25	-----	397330,70
MECO 2	320	7779,3787	-----	397330,70

Una vez determinada la trayectoria preliminar, se deberá comenzar la etapa de diseño estructural partiendo de las diferentes cargas involucradas, estructurales, aerodinámicas, acústicas, térmicas, entre otras. En el caso de las cargas de vuelo de origen aerodinámico durante la fase de vuelo atmosférico, en general se utiliza la condición establecida en el gráfico de máxima presión dinámica, teniendo en cuenta una condición de vuelo determinada. El diseño estructural de todas las estructuras primarias y secundarias del vehículo deberán estar

de acuerdo con las relaciones o índices estructurales planteados en función de las tecnologías con que se cuente., de manera de cumplir con las etapas de diseño por etapas. A continuación, se muestra una grafica de los eventos de vuelo propuestos para el vehículo.

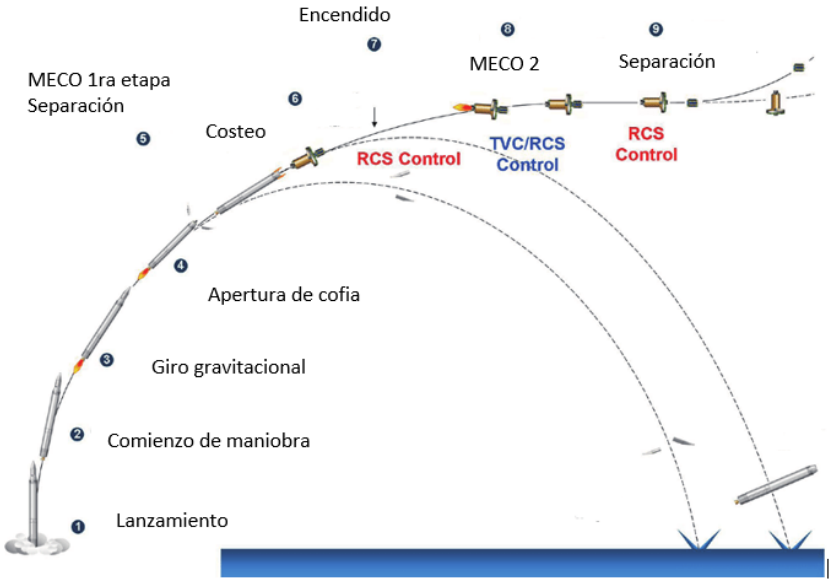


Figura 4 Eventos de vuelo típico de dos etapas

Conclusiones

El objetivo del trabajo fue el de mostrar resumidamente el estado actual referido a los requerimientos de lanzadores satelitales de pequeñas cargas en orbitas LEO. Este requerimiento surgió dadas el auge en el desarrollo de tecnologías aeroespaciales plasmadas en el diseño construcción y puesta en orbitas de pequeños satélites. En base a esto se mostró un criterio de cómo se puede llevar a cabo un proceso de diseño o en su defecto el análisis selección de un lanzador pequeño para llevar una carga determinada. Se mostraron las diferentes variables involucradas desde el diseño de los motores cohete, combustibles, estructuras, materiales, aviónica, trayectoria y demás variables que deben contemplarse en este proceso, que está totalmente ligado con las capacidades tecnológicas con que se cuente para lograr el desarrollo.

Bibliografía

[1] AAVV. Space Mission Analysis and Design Third Edition, Vol. 8. 3ª edición. Larson, W.J. and Wertz, J. R. (Eds). California. Space Technology Library, 1999
[2] David N. Burghes. Optimum Staging of Multistage Rockets, International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 5:1, 3-10, 1974
[3] “Small innovative launcher for europe: results of the h2020 project smile” Leo Timmermansa, Bernvinga, N; A. Van Kleefa, B., Haemmerlib, M Kuhnc, I Müllerc, M Petrozzid, G Psoni - 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, October 2018.
[4] Launch: payload User´s Guide – Rocketlab 2020
[5] Small Launch Vehicles – A 2018 State of the Industry Survey - C. Niederstrasser Northrop Grumman Corporation - 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites – 2018
[6] Space Launch Report (web site)
[7] Tewari, A. (2007). Atmospheric and Space Flight Dynamic. Modeling and Simulation with MATLAB® and Simulink®, Modeling, Simulation in Science(Birkhäuser)

AEROPUERTOS - NUEVO CONCEPTO: SISTEMA DE SOLICITUD Y ENTREGA DE EQUIPAJES EN LLEGADAS (SSEEL).

Vitale, Nicolás; Di Bernardi,C. Alejandro; Szelagowski, Pablo; Pitrelli, Sergio, Di Gregorio Pablo; Faut, Rogelio; Coppa Matías

Grupo Transporte Aéreo – UIDET "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: nvitale@fau.unlp.edu.ar

Palabras claves: aeropuertos, terminales, equipajes, llegadas, entrega.

INTRODUCCIÓN:

Se plantea la necesidad de encontrar un mecanismo innovador capaz de modificar las variables del sistema de espera, visualización, reconocimiento y rescate de equipaje que desde la década del 60 descansa en el pasajero, particularmente en su tiempo y habilidad, para la recuperación de un bien de su propiedad previamente confiado a una compañía aérea en una instalación aeroportuaria.

En ese contexto, SSEEL (Sistema de Solicitud y Entrega de Equipajes en Llegadas) se caracteriza por la pretensión de cambiar las lógicas clásicas del **retiro** de equipaje por las de la **entrega** de equipaje, introduciendo conceptos de verdadero servicio en una función que resulta esencial a la práctica cotidiana de los aeropuertos.

Se observa con regularidad la masiva y simultánea concurrencia a las salas de recogida de equipajes por parte de los pasajeros recientemente arribados a un aeropuerto, así como la aglomeración posterior de los procedentes de un mismo vuelo frente a un determinado carrusel que, en ocasiones, se presenta como de uso no exclusivo.

La situación es indudablemente generada por los mecanismos que se ofrecen, incrementada por la ausencia de alternativas, y potenciada por la ansiedad que genera la voluntad y/o la necesidad del pasajero de disponer nuevamente de sus maletas en tiempos ágiles, que resulten respetuosos de los ritmos que, en términos relativamente generales, imponen los actuales modos de vida.

Este particular escenario hace que el sistema que todavía se sostiene pueda ser técnicamente estimado como obsoleto, e incluso que así sea percibido por parte de un número significativo de usuarios y usuarias, disminuyendo en ocasiones sus umbrales de tolerancia.

Es por ello, que la situación descrita provoca hoy menores niveles de paciencia de los observados que en el pasado, despertando malestar y preocupación ante demoras que suelen ser consideradas, por los pasajeros, como infundadas, motivando en algunos casos percepciones de demoras aún mayores a las efectivamente producidas.

El sistema además se presta a la confusión en los procesos visuales de identificación y reconocimiento de equipajes cuando estos presentan similar color, tamaño y forma, llevando a algunos pasajeros a manipular maletas que no les pertenecen.

Asimismo, la espera de un equipaje que no se sabe cuándo aparecerá obliga al pasajero a priorizar su localización y retiro, para incluso así preservar su propiedad, evitando de ese modo despojos fundados en error y/o en la deliberada voluntad de sustracción del bien material por parte de terceros. Nótese que, desde el momento en el que la cinta entra en funcionamiento, el sistema transforma al pasajero en un custodio principal de su equipaje, y

consecuentemente le impide la libre administración de su propio tiempo, quitándole la posibilidad de aprovechar los servicios comerciales que el sector brinda y que son parte de los ingresos no aeronáuticos del aeropuerto.

Más allá de lo mencionado, debe señalarse que el sistema actual provoca una multiplicidad de situaciones particulares especialmente críticas, que afectan de manera desigual al pasajero. Al respecto, puede mencionarse a modo de ejemplo la dificultad que conlleva la autogestión para personas adultas mayores, personas con discapacidad, y/o personas con movilidad reducida que no han gestionado el servicio de asistencia con antelación, no siendo infrecuentes los casos en los que la acción de recoger una o más maletas desde el carrusel deviene en una tarea de imposible cumplimiento, obligando a pedir ayuda de pares, o motive movimientos y/o esfuerzos que causen accidentes, lesiones y costos. Adicionalmente, el sistema impide el cumplimiento de las mínimas medidas de prevención impuestas en el marco de la actual emergencia sanitaria, y de otras que puedan acontecer, en tanto hace impracticable la pauta esencial de distanciamiento social, la que se presenta como única garantía de no contagio.

Todo lo dicho se traduce en altos índices de reprobación por parte de los pasajeros, y en mayores necesidades de revisión y renovación de las políticas de servicio por parte de operadores aeroportuarios.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Se propone un sistema modular de implementación progresiva que inicialmente opere en forma combinada con el sistema de tratamiento de equipajes existente en las terminales, que permita, a pedido del pasajero, desviar del circuito convencional su equipaje, para que éste le sea luego entregado en un puesto del tipo “self bag drop”.

Este sistema se plantea en términos del aprovechamiento de las instalaciones existentes en las diferentes terminales aeroportuarias, resultando posible su aplicación a las variadas escalas del sistema de equipaje, desde los simples circuitos manuales hasta los de mayor desarrollo tecnológico y dimensional, incorporando criterios de redundancia en caso de fallos o paradas por mantenimiento.



Figura 1: SSEEL en combinación con un sistema tradicional de reclamo de equipaje.

La propuesta contempla que la prestación del servicio le sea ofrecida al pasajero mediante la señalética interactiva de la terminal, y que ella pueda demandarse en forma digital, mediante dispositivos móviles y otros especialmente ofrecidos a esos fines, desde el momento del desembarque y hasta el acceso a la sala de equipajes.

Asimismo, se prevé que el uso del servicio ofrezca información sobre el estado de procesamiento del equipaje durante su trayecto, y que la identificación del equipaje para su correcta entrega se realice inicialmente mediante el empleo del billete impreso o digital, marbete, documento de identidad o pasaporte, y que finalmente el reconocimiento biométrico

sea el utilizado en los sistemas de mayor desarrollo, ante la ventaja que ofrece el no requerir contacto físico.

Más allá de otros importantes beneficios derivados de la propuesta, se destaca aquí el hecho de que los equipajes solicitados por el SSEEL no circulen por el carrusel de recogida de equipajes con el resto de los equipajes, en tanto ello aporta un grado adicional de seguridad ante eventuales equivocaciones y actos delictivos, evitando que las personas usuarias de este sistema puedan manipular maletas que no les pertenecen, y a su vez que otras manipulen las suyas. Adicionalmente, el sistema incorpora un dispositivo de desinfección por medio de luz ultravioleta, pudiendo complementarse con la aplicación de alguna solución líquida o gaseosa, especialmente útil para prevenir riesgos de contagio en contextos de emergencia sanitaria.

Es evidente que el sistema que se propone, así como plantea un nuevo concepto que modifica procedimientos operativos y produce giros de relevancia cualitativa en las lógicas del servicio, plantea también una nueva forma de concebir, organizar, emplear e interactuar con un sector relevante del espacio físico que ofrecen las terminales aeroportuarias en su sector de llegadas.

Es por ello que resulta de alta significancia la implementación modular antes aludida, toda vez que ofrece la oportunidad de realizar un tránsito paulatino del actual sistema al que aquí se propone, circunstancia que permite y estimula la gradual adaptación de las prácticas tradicionales del pasajero, sin que el nuevo sistema le imponga en forma repentina nuevas conductas, al tiempo que les brinda a los operadores aeroportuarios oportunidades de adecuación progresiva de las instalaciones.

Al mismo tiempo, el nivel de empleo del mecanismo hará posible determinar sus necesidades reales de crecimiento y planificar ampliaciones acordes a ellas, según el comportamiento asumido por los pasajeros.

En suma, así como los mostradores convencionales de facturación han sido rápidamente reemplazados por terminales de autoservicio, aplicaciones digitales y nuevo equipamiento en la automatización del despacho de equipaje, esta nueva forma de entrega es posible de ser implementada progresivamente hasta reemplazar por completo los sistemas actuales que todavía redundan en los criterios de cuando fueron creados en el siglo XX.

La iniciativa aquí planteada cuenta con capacidad para genera valor directo e indirecto en una multiplicidad de aspectos, entre los que se destacan impactos favorables en el perfil empresarial y la política institucional de los operadores aeroportuarios; también en el aprovechamiento de las instalaciones, la mejora del servicio, la calidad de la experiencia, el nivel de satisfacción y el ejercicio de derechos de pasajeros.

El hecho en sí de mudar el concepto de retiro de equipaje al de entrega de equipaje posee potencialidad suficiente para ubicar al operador aeroportuario en un espacio de vanguardia y liderazgo dentro del mercado internacional.



Figura 2: SSEEL como reemplazo total del sistema tradicional de reclamo de equipaje.

A su vez, la reducción de las aglomeraciones, el acceso a información sobre el trayecto del equipaje, la disminución en los tiempos de la espera, la caída en los niveles de ansiedad y preocupación, el aumento de la calidad de la experiencia, la libertad en el uso de los tiempos, y la generación de espacios de consumo de productos y servicios dentro de las instalaciones portuarias, son algunas de las ventajas de valor derivadas de la propuesta.

Adicionalmente, un mejor y más dinámico desempeño de la recogida de equipaje por parte del pasajero redundará en menor tiempo de funcionamiento del sistema eléctrico, reducción del consumo energético, baja del costo de mantenimiento y una eventual disminución de la cantidad de personal de asistencia al pasajero en las áreas de entrega de equipaje de la terminal aeroportuaria.

En concordancia con lo anterior SSEEL se encuentra en sintonía con la responsabilidad corporativa de la mayoría de las empresas concesionarias de aeropuertos ya que busca favorecer el turismo responsable haciendo que los servicios prestados aporten valor a clientes (usuarios del sistema) y los accionistas de las empresas y a la sociedad en general.

A su vez SSEEL se enmarca dentro de los objetivos de “Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas” en general y de los objetivos 10, 11 y 12 en lo particular por cuanto promueve la diversidad e inclusión social garantizando las modalidades de consumo sostenible.

Respecto de modelos de ingresos y costes, como fuera descripto precedentemente, la propuesta abarca la resolución de posibles ineficiencias que incluyen diversas problemáticas simultáneas a partir de la implementación de un novedoso sistema de calidad integral aplicado, donde se contempla la perspectiva de mejora en la calidad del servicio brindado a personas adultas mayores, personas con discapacidad, y/o personas con movilidad reducida, a la vez que genera una oportunidad de negocio derivado de la mejora en el servicio ofrecido para todas las categorías de pasajeros.

En vista de ello, esta visión integral se sustenta en la reducción de niveles de stress en los pasajeros que tendrá su contrapartida en la mejora en los niveles de consumo en las instalaciones aeroportuarias en la dimensión correspondiente a llegadas, donde dicho consumo se ve a menudo desafiado por las incomodidades propias de la espera, el

desplazamiento con maletas y las inseguridades propias del pasajero respecto del funcionamiento de los sistemas aeroportuarios.

En contrapartida de ello, de acuerdo con la tecnología disponible las adaptaciones requeridas no insumen desembolsos importantes, reduciendo la posibilidad de implementación a la necesidad de contar con los espacios específicos y el personal dedicado a las tareas de custodio y administración de los equipajes.

Más allá de lo expuesto y sin perjuicio de los ajustes que deba hacerse sobre el proyecto al momento de la definición de desarrollo y puesta en práctica, para lo cual se prevé una estrategia de implementación conjunta con las empresas concesionarias, donde se definan las prioridades con el grado de detalle que se requiere al efecto, se sostiene que la empresa verá incrementado también aquellos aspectos relacionados con el "valor aeroportuario" derivado de la mejora en los niveles de servicio brindados y con las percepción de los mismos por parte de los usuarios y usuarias del sistema.

Para la implementación el SSEEL, al igual que un sistema automatizado de tratamiento de equipajes (SATE), requiere de dispositivos similares para control y seguimiento en línea *"on-line tracking*" (PLC, lectores de código de barras, células fotoeléctricas) y direccionamiento (cintas, desviadores, clasificadores, motorizaciones, dispositivos de vuelco, entre otros) para poder seguir el movimiento de una *"ventana virtual"* que contiene el equipaje con su índice de identificación y su estado a lo largo de la zona de seguimiento y así lograr entregar los equipajes de manera correcta al pasajero.

Algunos procesos del sistema son: asociación de la información del pasajero al equipaje, esto se realiza en el origen, en el momento del despacho del equipaje en los mostradores de facturación o self bag drop, transmisión de esa información con el aeropuerto de destino, control y carga en el sistema en el destino del equipaje que se descarga de cada ULD en el patio de equipajes en llegadas, a requerimiento de un pasajero de que su equipaje va a ser entregado en el nuevo sistema.

CONCLUSIONES

La propuesta contribuye a enfatizar el compromiso de los operadores aeroportuarios en materia de responsabilidad social empresarial, toda vez que implica la prestación de un nuevo servicio que inexorablemente provocará un contexto más propicio para el ejercicio de derechos básicos de los pasajeros en general, y en particular de determinados grupos de personas especialmente protegidas por el derecho internacional.

En materia de derechos, más allá de verse elevado el nivel de resguardo del derecho a la propiedad, y la garantía del disfrute de la libertad, la propuesta implica un notable avance en el respeto de los derechos de personas adultas mayores, personas con discapacidad, personas con movilidad reducida y personas con enfermedades y/o dolencias que afecten o impidan la realización de los movimientos y/o esfuerzos necesarios para generar un espacio adecuado próximo a una cinta en marcha, ingresar en él y descargar desde allí por sus propios medios y en pocos segundos el equipaje de su pertenencia, previamente visualizado y reconocido.

Al respecto, debe decirse que el contar con una alternativa que no requiere de especiales habilidades y fortalezas individuales redunda en favor de un trato respetuoso de ideales de igualdad y dignidad, especialmente en relación a los referidos grupos poblacionales, y aproxima las prácticas empresariales a las normas vigentes. Nótese que, por ejemplo, las convenciones internacionales que tutelan especialmente a las personas con discapacidad definen a la discapacidad, entre otros modos, como aquella que puede ser

causada o agravada por el entorno, por cuanto obliga a remover y eliminar las trabas que el entorno pueda propiciar.

A su vez, el modelo propuesto previene accidentes ocasionados por la manipulación del equipaje, lo que podría derivar en una reducción significativa de las causas motivadoras de responsabilidad jurídica, eliminando diversos supuestos de conflicto, y disminuyendo en lógica consecuencia las demandas administrativas y judiciales a las que el actual sistema expone a los operadores aeroportuarios.

Adicionalmente, la propuesta hace posible la atención prioritaria de personas en situación de vulnerabilidad, y el distanciamiento social en casos de pandemia, ya sea ante las condiciones sanitarias actuales, o ante otras de similar entidad que en el futuro puedan acontecer.

Por último, y en un contexto de acelerado envejecimiento de la población mundial, que da cuenta de un inevitable aumento del uso de las instalaciones aeroportuarias por parte de personas adultas mayores, el proyecto ofrece la posibilidad de dar señales tempranas de apertura y adecuación a nuevas realidades, facilitando el disfrute de los derechos a la independencia y autonomía de las personas mayores, al tiempo que alienta procesos de envejecimiento activo y saludable.

Bibliografía

http://www.ippdh.mercosur.int/wp-content/uploads/2015/06/Espa-%C2%A6ol_CONVENCI-%C3%B4N-INTERAMERICANA-SOBRE-LA-PROTECCI-%C3%B4N-DE-LOS-DERECHOS-HUMANOS-DE-LAS-PERSONAS-MAYORES.pdf
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:439cd3a7-fd3c-4da7-8bf4-b0f60600c1d6.0005.02/DOC_1&format=PDF
https://ec.europa.eu/transport/themes/passengers/air_en
http://www.aena.es/csee/ccurl/847/658/passengers_rights_leaflet_air_es.pdf
https://www.transportation.gov/airconsumer/new-horizons-information-air-traveler-disability
https://www.transportation.gov/airconsumer/baggage

EVALUACIÓN DE SUSTITUCIÓN DE VEHÍCULOS DE ASISTENCIA A AERONAVES (GSE) POR VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (eGSE)

Granda, Ezequiel; Sznajderman, Lucas; Coppa, Matias; Di Bernardi, C. Alejandro

Grupo Transporte Aéreo – UIDET "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: zequi.granda@hotmail.com

Palabras Claves: Aeropuertos, infraestructura, servicio, GSE, emisiones, eGSE,

INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas el medio ambiente ha sufrido las consecuencias negativas del desarrollo industrial. Si bien se dispone de la tecnología y de los medios necesarios para aminorar esta cuestión, no se han implementado a gran escala.

De acuerdo con la bibliografía de referencia [1], el mayor aporte contaminante mundial está dado por el suministro de energía (29,3%), y en segundo término los medios de transporte con el 19,5%. Cabe destacar que -si bien el avión es el medio de transporte más contaminante por pasajero- la industria aérea representa el 3% de las emisiones asociadas al cambio climático.

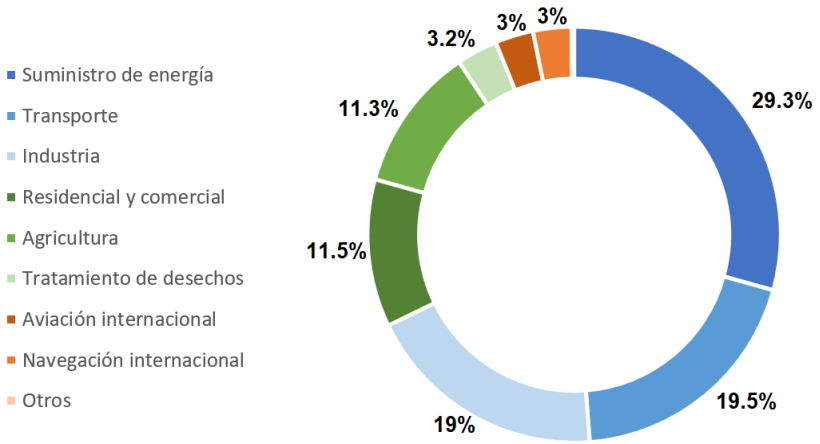


Figura 1 - Gases de efecto invernadero por sector (Fuente: Elaboración propia con datos de IPCC)

Con el devenir de los años, el tráfico aéreo –específicamente las operaciones civiles y comerciales– ha mostrado una tendencia creciente, haciendo indispensable el incremento de la flota aérea para abastecer la demanda de pasajeros y, por ende, repercutiendo directamente en el aumento de los niveles de contaminación. Bajo el contexto del acuerdo de Kyoto y del programa CORSIA, se hace notoria la obligación y el compromiso de los aeropuertos por inclinar la balanza hacia el empleo de tecnologías limpias. El uso responsable de los recursos naturales, la reducción del consumo energético, la utilización de energías renovables para reducir la emisión de gases de efecto invernadero y la gestión de los residuos, son algunas de las medidas que permiten orientar la evolución de los mismos, hacia los denominados "aeropuertos verdes".

Sin embargo, este escenario de desarrollo ha tenido un giro repentino hacia fines del año 2019 con la aparición de la pandemia por Coronavirus. Vuelos con un bajo factor de ocupación o cancelados, quiebre de aerolíneas, cierre de aeropuertos, y despidos masivos son algunas de las afecciones que ha sufrido el sector aeronáutico.

La actividad aérea (hasta inicios del año 2020) registraba una gran actividad diaria, la cual se preveía sería exponencial en los años subsiguientes. Si bien la contaminación gaseosa producida por las aeronaves representa el porcentaje más significativo: superior al 85% [2], también deben tenerse en cuenta otros focos de emisión [3] como:

1. Vehículos de asistencia en tierra (GSE).
2. Vehículos de acceso al aeropuerto (GAV).
3. Energía eléctrica consumida por el aeropuerto.

En una era en la que el costo del combustible supera ampliamente el precio de la electricidad, se ponen de manifiesto las alternativas que presentan las aerolíneas en pos de reducir sus gastos. La electrificación de los equipos de apoyo en tierra (GSE), si bien representa un desembolso de capital inicial significativo, resulta ser una opción más que viable a largo plazo.

En este contexto el presente estudio tiene por objeto el desarrollo de una metodología que permita evaluar el reemplazo parcial o total de los vehículos de asistencia a las aeronaves por vehículos eléctricos en cualquier aeropuerto independiente de sus dimensiones operacionales y de los servicios requeridos, con el objeto de obtener una mayor reducción de las emisiones gaseosas asociadas al servicio y circulación, generadas por los GSE. La secuencia lógica que se plantea es la siguiente:



Figura 2 – Secuencia lógica aplicada

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Los vehículos de asistencia en tierra representan un eslabón clave en lo que respecta a la gestión aeroportuaria. La operatividad de los mismos está directamente asociada al movimiento de las aeronaves (arribos y partidas) y a la mezcla de tráfico.

La identificación del tipo de servicio de las diferentes aeronaves que conforman la flota operativa de un aeropuerto, permite identificar qué vehículos GSE intervienen en cada proceso. Dicha caracterización propuesta abarca los siguientes tipos de servicio:

- Vuelo origen-destino con pasarela (FSC, por sus siglas en inglés “Full Service Carrier”)
- Vuelo origen-destino con puesto remoto (FSC)
- Vuelo en escala con pasarela (FSC)
- Vuelo en escala con puesto remoto (FSC)
- Vuelo low cost carrier (LCC)

Se habla de vuelo origen-destino cuando en el lugar de destino se lleva a cabo un intercambio total de pasajeros, carga y combustible. En el vuelo en escala o con conexión, el intercambio de pasajeros, carga y combustible se realiza de forma parcial y, a diferencia del primero, no cuenta generalmente con limpieza de cabina, abastecimiento de agua potable y servicio de aguas residuales.

Los vuelos low-cost o vuelos de bajo costo se caracterizan por su eficiencia en términos de reducción de tiempos operativos. Esto repercute en una disminución de costos dado por el menor tiempo de manejo de los vehículos de asistencia en tierra. A su vez, los

vuelos LCC presentan menos servicios que los vuelos regulares. Los pasajeros abordan por medio de escaleras para evitar cargos aeroportuarios relacionados con el uso de pasarelas; las aeronaves cuentan con escaleras a bordo para evitar el retraso en la colocación de escaleras móviles y para generar una reducción de gastos; los puestos de estacionamiento se ubican a poca distancia de la terminal para evitar el uso de buses; el menor consumo de alimentos dado por la falta de servicio de catering repercute en prescindir de vehículos de limpieza [4].

En el caso de ser requerido, todas las aeronaves tienen a disposición vehículos para pasajeros con movilidad reducida (PRM) y vehículos anticongelantes. Sin embargo, la disponibilidad de los PRM está sujeta a la anticipación con la que se haya solicitado el servicio, mientras que la disponibilidad de vehículos anticongelantes está asociada a las condiciones climáticas en las cuales se encuentre inmerso el emplazamiento aeroportuario.

A continuación se muestra una tabla resumen en donde se identifican los diferentes vehículos de asistencia en tierra intervinientes según el tipo de servicio que brinde la aeronave.

Tabla 1 – Identificación de vehículos GSE por servicio

GSE	FULL SERVICE CARRIER				LOW COST
	ORIGEN-DESTINO		EN ESCALA		
	PASARELA	REMOTO	PASARELA	REMOTO	
CATERING TRUCK	✓	✓	✓	✓	-
CLEANING TRUCK	-	✓	-	-	-
DE-ICING TRUCK	✓	✓	✓	✓	✓
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	✓	✓	-	-	✓
LAVATORY VEHICLE	✓	✓	-	-	✓
POTABLE WATER VEHICLE	✓	✓	-	-	✓
BULK TRAIN	✓	✓	✓	✓	✓
CONVEYOR BELT	✓	✓	✓	✓	✓
GROUND POWER UNIT	✓	✓	✓	✓	-
APRON BUS	-	✓	-	✓	-
PASSENGER STAIRS	-	✓	-	✓	-
PRM VEHICLES	-	✓	-	✓	✓
TOW TRACTOR	✓	✓	✓	✓	-

Definido el aeropuerto y el período bajo estudio, se procede a caracterizar la flota según aeronave, tipo de vuelo, puesto de estacionamiento y horarios de arribo y partida. En función de ello, es que se logra identificar los GSE requeridos para cada servicio y la cantidad de vehículos necesarios para suplir la demanda generada, en función de las variables mencionadas previamente. Además, vale mencionar la importancia de caracterizar la plataforma, factor que influye directamente en los tiempos y las distancias recorridas por cada vehículo.

Otro punto a destacar es la influencia del tamaño de las aeronaves en la operatividad de los vehículos de apoyo en tierra. Las aeronaves de fuselaje ancho (Wide-Body) presentan una mayor cantidad de pasajeros a bordo que las aeronaves de fuselaje angosto (Narrow-Body). A continuación, se presenta la caracterización de la dependencia de los GSE en función de lo indicado:

- Bus de pasajeros: depende de la capacidad del vehículo en cuestión.
- Camión de catering: necesidad de una mayor cantidad de insumos.
- Vehículo de limpieza de aguas residuales: se generan más desechos.
- Vehículo de abastecimiento de agua potable: se requiere mayor cantidad de agua potable.
- Tractor de equipaje: necesidad de transportar mayor cantidad de valijas. Depende de la capacidad de los carros.
- Camión cisterna de combustible: se requiere mayor cantidad de combustible.

Evaluación en la incorporación de vehículos eléctricos

Hoy en día, las emisiones de gases contaminantes asociadas a la actividad aérea no se encuentran reguladas bajo ningún marco normativo. Sin embargo, los aeropuertos suelen estar ubicados en áreas metropolitanas [5], por lo que resulta sustancial emplear sistemas de control ambiental. De aquí el compromiso de los explotadores aeroportuarios y de las aerolíneas por intentar reducir la contaminación mediante el uso de energías renovables.

El reemplazo de los vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos es una de las principales alternativas que surge al plantear este tipo de problemáticas. El bajo mantenimiento y la reducción en el costo del combustible repercuten directamente en los costos del ciclo de vida, mostrando un ahorro sensible en comparación a los vehículos accionados por combustible fósil.

Se expone a continuación una tabla que indica las principales ventajas y desventajas asociadas a la incorporación de vehículos eléctricos:

Tabla 2 – Ventajas y desventajas de los eGSE

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• Menor costo de combustible • Menor mantenimiento • Mayor confiabilidad • Reducción de emisión de gases contaminantes asociados a la combustión	• Elevado costo inicial • Bajos ciclos de carga • Emisión de gases contaminantes en el reciclado de las baterías • Inoperatividad en tiempos de carga • Unidades eléctricas no disponibles para algunos GSE

Vehículos clave y análisis de mercado

Si bien el escenario ideal en términos de reducción de aporte contaminante sería reemplazar toda la flota por vehículos eléctricos, se presentan ciertas limitaciones. Teniendo en cuenta que el capital inicial para el reemplazo completo de la flota de GSE es muy elevado (entre un 30% y un 35% más que los vehículos a gas [6]), se debe hacer una selección de vehículos clave, identificando cuáles son los vehículos de asistencia en tierra que generan el mayor aporte contaminante.

De acuerdo con un estudio realizado en el Aeropuerto de Aeroparque [7], se detectó que los vehículos más contaminantes son los camiones cisterna de combustible, los buses de pasajeros, y las cintas transportadoras.

La electrificación de los vehículos de apoyo en tierra está sujeta principalmente a la disponibilidad de equipos en el mercado. De acuerdo a una extensa investigación basada en sitios web oficiales de los fabricantes de vehículos de apoyo en tierra eléctricos, se creó el siguiente listado que indica los equipos eGSE que se encuentran disponibles para la compra:

Tabla 3 – Disponibilidad de eGSE

GROUND SUPPORT EQUIPMENT			TIPO DE ENERGÍA	
CATEGORÍA DE SERVICIO	ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN	DIESEL/GASOLINA	ELÉCTRICO
AIRCRAFT TURNAROUND SERVICES	CAT	CATERING TRUCK	✓	✓
	CLEAN	CLEANING TRUCK	✓	✓
	DI	DE-ICING TRUCK	✓	X
	FUEL	FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	✓	X
	LV	LAVATORY VEHICLE	✓	✓
	WV	POTABLE WATER VEHICLE	✓	✓
BAGGAGE AND CARGO HANDLING	BULK	BULK TRAIN	✓	✓
	CB	CONVEYOR BELT	✓	✓
	LDCL	LOWER DECK CARGO LOADER	✓	✓
	ULD	ULD TRAIN	✓	✓
GROUND POWER AND AIR DISTRIBUTION	AC	AIR CONDITIONING UNIT	✓	✓
	AS	AIR START UNIT	✓	X
	GPU	GROUND POWER UNIT	✓	✓
PASSENGER LOADING AND UNLOADING	BUS	APRON BUS	✓	✓
	PS	PASSENGER STAIRS	✓	✓
	PRMV	PRM VEHICLES*	✓	✓
AIRCRAFT MOVEMENT	TOW	TOW TRACTOR	✓	✓

De la tabla previa, se concluye que hoy en día no se encuentran disponibles los siguientes tipos de vehículos eléctricos:

- Camión cisterna de combustible
- Vehículo anticongelante
- Unidad de arranque neumático

Tal como se puede observar, el camión cisterna de combustible no tiene disponible una versión en formato eléctrico. Esto puede deberse a que se trata de un vehículo que requiere una potencia elevada por las grandes toneladas de combustible que debe transportar. Implicaría, además, el uso de baterías muy pesadas y de gran capacidad. Por otra parte, en el caso de que las estaciones de carga funcionen con corriente alterna, resultaría riesgosa la circulación de energía eléctrica por un vehículo que dispone de grandes cantidades de combustible. Cualquier imperfecto técnico resultaría catastrófico.

CONCLUSIONES

En un inicio se había planteado la posibilidad de convertir toda la flota de GSE por vehículos eléctricos. Sin embargo, se vio que esta tarea estaba íntimamente relacionada a la disponibilidad de vehículos en el mercado. Si bien el camión cisterna de combustible es el vehículo que genera el mayor aporte contaminante, la faltante de un vehículo eléctrico de tales características hace que las emisiones no puedan ser contrarrestadas completamente. Es por ello que en muchos aeropuertos estos vehículos han sido suplantados por cañerías subterráneas en donde se traslada desde las plantas de combustible a cada puesto de estacionamiento.

El reemplazo parcial de los GSE genera un impacto positivo en los estándares de calidad del aire, permitiendo reducciones significativas (del orden del 50% de las emisiones anuales [7]).

Los tiempos de autonomía de los vehículos a combustión interna son superiores a los expuestos por los vehículos eléctricos. Esto hace que se requieran menos vehículos para abastecer a la misma demanda de aeronaves. Sin embargo, el beneficio de los vehículos eléctricos radica en el ahorro de combustible. Hoy en día, el precio de la electricidad se encuentra muy por debajo del precio del combustible, haciendo que se puedan obtener grandes réditos económicos.

A efectos de brindar un orden de magnitud sobre el ahorro de combustible, de acuerdo a un estudio llevado a cabo en el Aeropuerto de Zagreb, se determinó que el ahorro anual correspondiente a las operaciones Full Service Carrier (FSC) de aeronaves Airbus A319/A320 ronda el 70% [8].

Es más que evidente que el proceso de conversión de los vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos trae aparejados grandes cambios, siendo la adaptación de la infraestructura el eje principal. Sin embargo, el impacto producido por la reducción de las emisiones y el ahorro de combustible son los pilares que fomentan la electrificación de los vehículos haciendo que sea factible su implementación.

Bibliografía

[1] Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático, “Informe de Síntesis Cambio Climático 2014,” 2014.

[2] E. Fleuti and S. Maraini, “Air Quality Assessment Sensitivities – Zurich Airport Case Study.”

[3] International Civil Aviation Organization, “Airport Air Quality Manual,” 2011.

[4] F. Gomez and D. Scholz, “Improvements to Ground Handling Operations and their Benefits to Direct Operating Costs,” Germany, 2009.

[5] P. E. M. Szelagowski, N. Vitale, S. Pitrelli, and P. Di Gregorio, “LA CIUDAD EN EL AEROPUERTO, EL AEROPUERTO EN LA CIUDAD,” 2013.

[6] Electric Power Research Institute EPRI, “Airport Electrification Strategy at the Los Angeles International Airport,” Los Angeles, 2008.

[7] C. Trujillo, L. Sznajderman, and A. Di Bernardi, “Estudio del Aporte Contaminante Gaseoso Generado por la Circulación de los Vehículos de Apoyo en Tierra (GSE) en Emplazamientos Aeroportuarios,” 2018.

[8] I. Štimac, D. Vince, and B. Jakšić, “Model of Environment – Friendly Aircraft Handling – Case Study: Zagreb Airport,” 2013.

CONTROL ACTIVO DE FLUJO SOBRE PERFILES AERODINAMICOS MEDIANTE GENERADORES DE VORTICES

Capittini, Guillermo; Marañón Di Leo, Julio; Delnero, Juan S. & Donati Javier

Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia: Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental. UIDET-LaCLyFA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP. Calle 116 s/n entre 47 y 48, 1900, La Plata, Argentina.

*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. CONICET. Av. Rivadavia 1917, C1033AAJ, CABA, Argentina. delnero@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: Aerodinámica, Generadores de vórtices, Control de flujo, Turbulencia

INTRODUCCIÓN

La utilización de vehículos aéreos no tripulados es cada vez más importante y genera una gran demanda en el sector aeroespacial. Este tipo de vehículo comprende una gran variedad de tareas como son la vigilancia del territorio, monitoreo, observación etc. Estos vehículos, de acuerdo con sus requerimientos, son de diversos tamaños y prestaciones. Se los suele clasificar de acuerdo con la capacidad de carga de instrumental y de sus capacidades operacionales como ser alturas de vuelo, velocidades, etc. En la actualidad, con los avances en nuevos materiales, tecnologías de la comunicación y la miniaturización de dispositivos, se ha comenzado a investigar fuertemente la aplicabilidad de pequeños aparatos de vuelo no tripulados con el objetivo de realizar variadas tareas, en reemplazo de aeronaves de mayor costo de operación y con las mismas capacidades de funcionamiento.

El estudio y análisis de la eficiencia de estos sistemas, así como también otros de características similares, en lo que respecta al funcionamiento como son las palas de aerogeneradores lleva a buscar diferentes soluciones desde el punto de vista fluidodinámico que sea capaz de incrementar sus prestaciones. El hecho de que estos dispositivos operen dentro de la capa límite atmosférica significa que se verán sometidos a situaciones operacionales dependientes de distintos factores climáticos y naturales, tales como temperatura, humedad, velocidad de viento, etc., estas variaciones en las condiciones se ven reflejadas en cambios sobre la intensidad de turbulencia incidente en el sistema, el número de Reynolds y las escalas vorticosas incidentes. Por lo tanto, para asegurar un correcto funcionamiento de nuestro sistema y el control de los mismos, se debe caracterizar el comportamiento y la dependencia que presentan ante estas variables. Una manera de lograrlo es mediante la utilización de sistemas de control de flujo, ya sean estos pasivos o activos. Uno de estos dispositivos entre muchos otros son los denominados generadores de vórtices (VG).



Figura 1 – Generadores de vórtices en palas y aeronaves

Estos dispositivos han sido ampliamente estudiados, ya que son la primera opción para controlar un desprendimiento de capa límite mediante un sistema de control [1]. Ya sea en perfiles aerodinámicos [2]; como en palas de aerogeneradores [3], en fuselajes [4], o en difusores, o en flujos en alta velocidad [5]. Además de su aplicación en control de flujo, estos dispositivos son de gran importancia a la hora de diseñar sistemas de transferencia de calor. Existe una amplia gama de generadores de vórtices, en general se dividen según su geometría en dos categorías. La primera denominada “Winglets”, consisten en un ala de muy baja relación de cuerda montada de manera perpendicular la superficie del sistema a controlar. La segunda consiste también en un ala de muy baja relación de cuerda pero que posee un cierto ángulo entre su superficie y la del sistema (ver Figura 2).

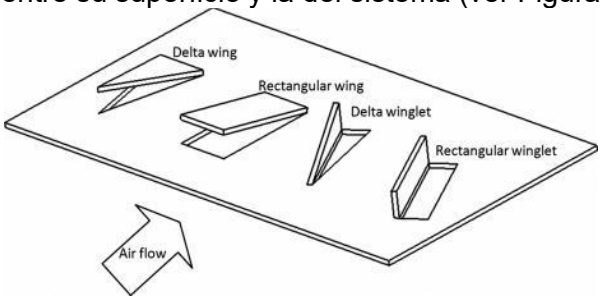


Figura 2 Ejemplos de Generadores de Vórtices.

Es de prever que el comportamiento de estos dispositivos esté relacionado no solo a las condiciones del flujo incidente sino también a las características geométricas del mismo, entre las cuales se puede destacar la superficie de este, la orientación frente al flujo incidente y a la superficie en la cual se encuentra montado, el perfil que posee, y la altura máxima a la cual se encuentra. Esta última característica genera una nueva distinción entre los dispositivos, que los divide en los que operan íntegramente dentro de la capa límite y dispositivos que operan en el flujo desarrollado. Estos dispositivos se encuentran montados (cuando están en un perfil aerodinámico) sobre el extradós (parte superior del perfil) cercanos al borde de ataque (parte delantera del perfil) y generan vórtices en la zona donde el flujo posee mayor cantidad de movimiento, cambiando la configuración de flujo y energizando la zona de pérdida para mantener así adherida a la superficie a la capa límite, se muestra una ilustración del concepto en la Figura 2.

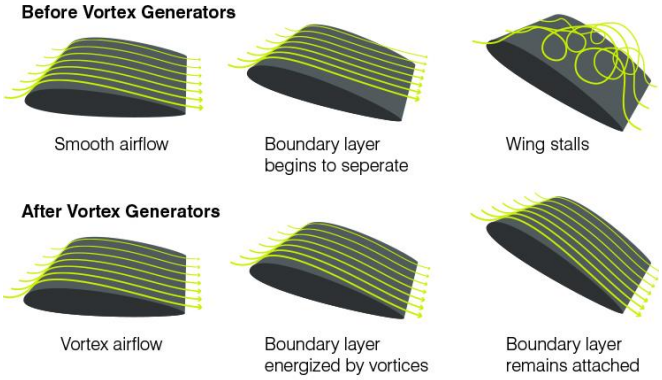


Figura 3 Esquematización del Efecto de Generadores de Vórtices sobre un modelo de ala.

Es de crucial importancia la separación entre los mismos ya que vórtices que roten en diferentes direcciones cancelarían los efectos deseados. La configuración de los VG suele estar asociada a un aumento en la resistencia parasita (toda aquella resistencia que no deviene de la generación de sustentación, es decir resistencias de forma y de fricción), por lo cual es recomendable un sistema que permita retraer los dispositivos cuando no es necesario su uso. Esta resistencia asociada también está influenciada en gran medida a la característica del flujo incidente, o sea a la turbulencia, que se ve descripta por las escalas temporales y espaciales del flujo. Estas razones llevan a que no solo se deba estudiar cual es el efecto de

los generadores de vórtices sobre el sistema sino también caracterizar los mismos para determinar cual es el impacto local que producen y de esta manera contar con más información para analizarlos y aplicarlos. Por los antes expuesto nos proponemos analizar un tipo de generador de vórtices (VG) de manera experimental.

Metodología

Nos proponemos como objetivo general el estudio y caracterización de un generador de vórtices y el impacto que tiene este sobre un perfil aerodinámico. Como objetivos específicos se estudiará el comportamiento fluidodinámico de estos dispositivos de manera de entender su mecanismo de funcionamiento. La interacción de los vórtices generados sobre la capa límite y cuál es el efecto de estos dispositivos como elemento pasivos y activos de control de flujo sobre las cargas resultantes.

Se selecciono el VG denominado delta wing. Se construyeron y montaron sobre una placa plana de manera de poder realizar su caracterización en túnel de viento. Esto consiste en medir mediante sensores de velocidad de dos componentes las velocidades en la estela del generador de manera de cuantificar como es el flujo para diferentes velocidades, ángulos del generador de vórtice, turbulencia incidente y ángulo de ataque de la superficie que los contiene. Para el estudio de control pasivo y activo de flujo se diseñó y construyo un sistema electromecánico capaz de mover el VG a diferentes frecuencias. Dicho dispositivo fue montado sobre un perfil aerodinámico FX 63137 diseñado y construido para tal fin. Este perfil esta vinculado mediante una balanza aerodinámica al túnel de viento de manera tal de obtener las fuerzas de sustentación y resistencia para los diferentes casos estudiados. También se utilizó un modelo del mismo perfil dotado de tomas de presión estáticas a lo largo de la cuerda (longitud del perfil).

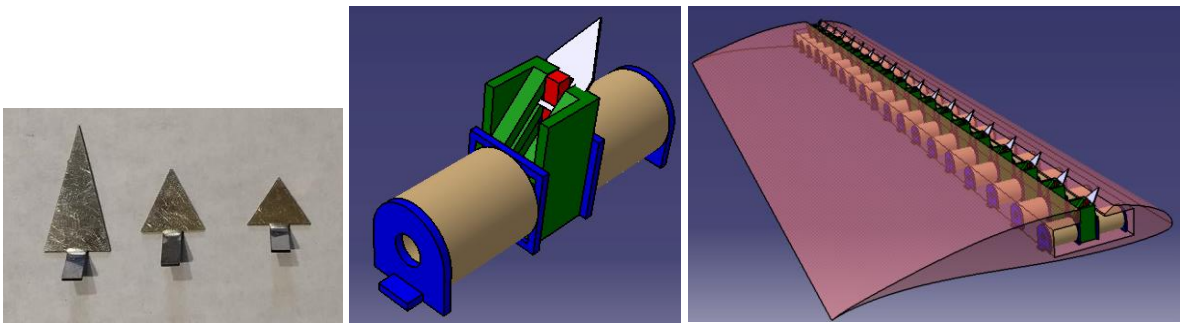


Figura 4 GV -Dispositivo electromecánico de accionamiento y montaje sobre el perfil



Figura 5 Caracterización en túnel – Modelo de ala con VGs

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Para la caracterización de la estela de los VGs, se analizan las distintas configuraciones en tres disposiciones distintas. El primer arreglo, A1, es un VG situado en el

origen de coordenadas, el segundo A2, son siete VGs con una separación de 2 cm entre sí, mientras el tercer arreglo A3, son nuevamente siete VGs pero con una separación de 4 cm entre sí. Los generadores tienen las siguientes características, cuerda: 0,75 cm (VG1), 1 cm (VG2) y 2 cm (VG3) y envergadura: 1 cm.

Se logro determinar el campo de flujo en la estela de los generadores de vórtices de distintas características. El campo de velocidades fue sensado en una grilla de medición. Las mediciones obtenidas posibilitaron la cuantificación de la energización de las capas de flujo cercanas a la superficie. Como así también, la determinación de las estructuras y turbulencia producida por los distintos generadores y sus configuraciones en arreglos.

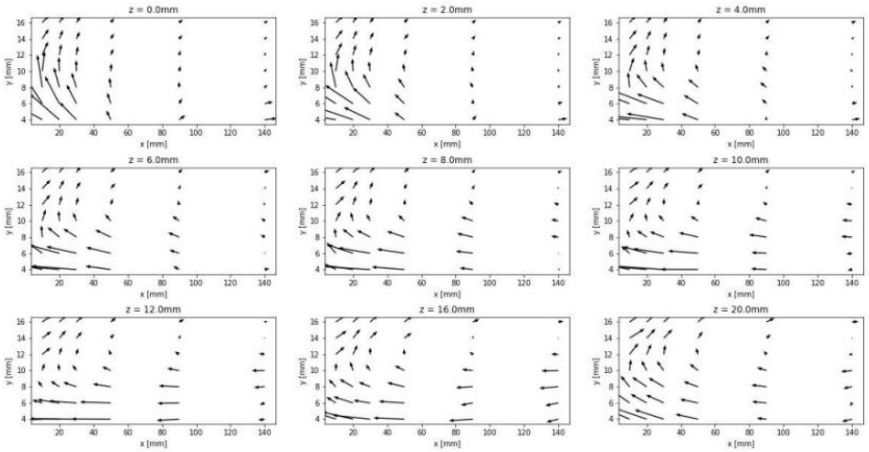


Fig. 49: Campo de velocidad por efecto de VGs en plano XY, V6_VG2_A1

Figura 6 Velocidades en la estela del generador de vórtices

De los ensayos de presiones para los sistemas de control estáticos mediante la técnica de descomposición de valores singulares, se comprobó una reorganización de los modos energéticos del campo. Mediante este análisis se observó una re-energización de los modos predominantes (asociados a modos con una estructura definida) al observar el módulo de los valores singulares, y una reducción en la energía de los modos altos (asociados a ruidos o en este caso a efectos aleatorios sin estructuras definidas presentes en la turbulencia), para diferentes ángulos de ataque (Figura 7). No solo se percibió un cambio en la energía, sino una modificación del modo asociado a ella, cuantificable mediante el cambio del vector modal asociado (Figura 8). Lo que sugiere un reacondicionamiento energético favorable introducido por los VGs, que promovería al control del desprendimiento de la capa limite.

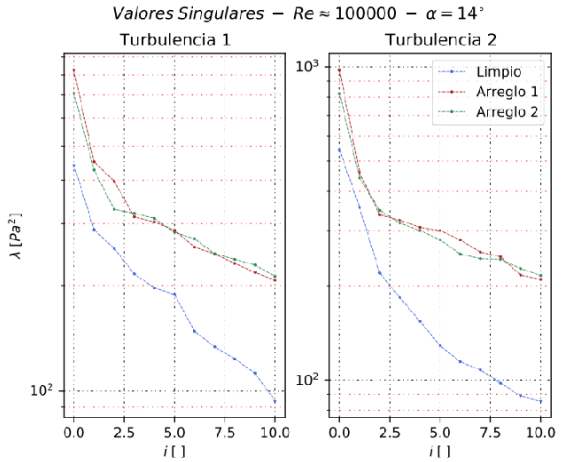


Figura 7- Valores singulares

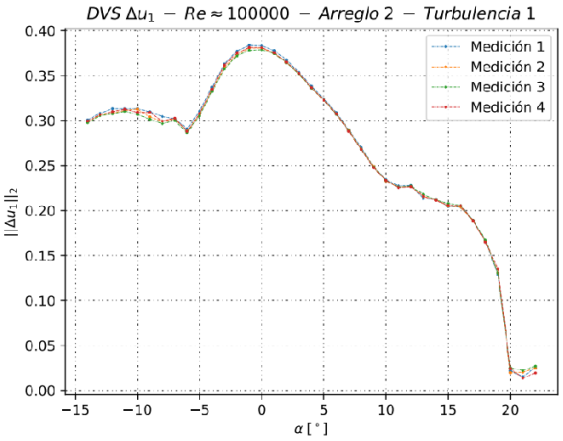


Figura 8 – Vectores modales

Mediante los ensayos anemométricos sobre la estela del perfil dotado del sistema de control pulsante se comprobó la factibilidad de perturbar el campo de flujo aguas abajo del perfil, mediante un sistema de control pulsante al cuarto de cuerda. La presencia de componentes armónicas en el campo de velocidad de la estela que muestran las PSD, confirma la presencia de estructuras definidas sobre el extradós del perfil; la falta de estos picos por debajo del cero en dicha PSD justifica esta afirmación (Figura 9). Este fenómeno resulta de gran importancia, ya que abre la posibilidad a la utilización de controles dinámicos situados en la parte delantera de un ala o perfil aerodinámico, donde las características geométricas son favorables (el mayor volumen al cuarto de cuerda en el interior del perfil posibilita el uso de mecanismos más complejos y que requieren de mayor espacio), logrando actuar sobre la parte posterior del mismo donde los desprendimientos de capa límite son más comunes. En la Figura 10 se pueden observar los resultados preliminares obtenidos a partir de los ensayos de cargas sobre el modelo.

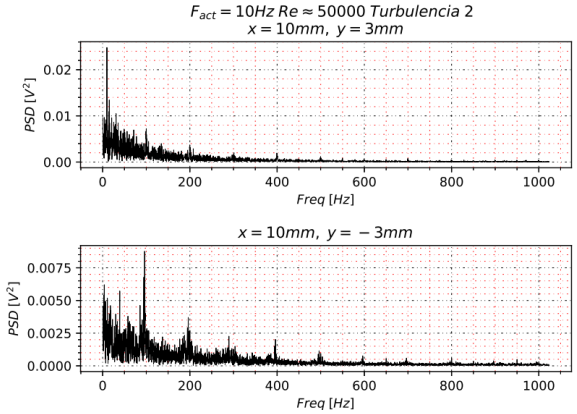


Figura 9 – PSD- GV Dinámicos

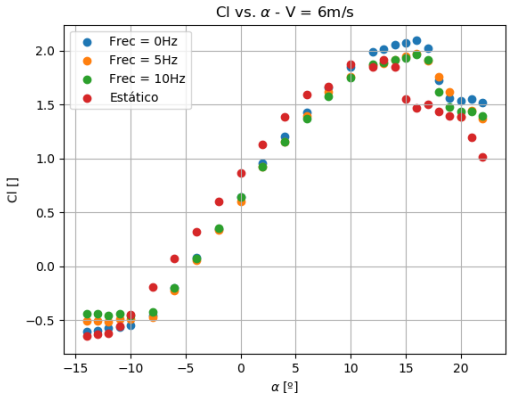


Figura 10- Cl vs alfa (GV Dinámicos)

CONCLUSIONES

De acuerdo con todos los ensayos realizados y al análisis de la información procesada hasta el momento se puede observar como estos dispositivos modifican la estructura fluidodinámica en las cercanías del perfil aerodinámico. Se cuantificó como es la estructura de vórtices en la estela de los VG en condiciones estáticas y dinámicas. Se analizaron los valores de presiones en condiciones estáticas y con el uso de diferentes herramientas se puede observar la energía que hay en juego en las diferentes condiciones, y que permitiría lograr el control del flujo sobre el perfil o ala. También se observan cambios en las cargas obtenidas mediante la utilización de balanzas aerodinámicas.

Bibliografía

[1] Gad-el-Hak, M. (2000). Flow control: Passive, Active and Reactive Flow Management. Cambridge Univ. Press. ISBN 0 521 77006 8.

[2] Nickerson, J.D. (1986) “A Study of Vortex Generators at Low Reynolds Numbers” AIAA Paper No. 86-0155, New York.

[3] Linyue Gao, Hui Zhang, Yongqian Liu, Shuang Han (2015), “Effects of vortex generators on a blunt trailing-edge airfoil for wind turbines”, Renewable Energy, Volume 76, Pages 303-311

[4] Calarese, W., Crisler, W.P., and Gustafson, G.L. (1985) “Afterbody Drag Reduction by Vortex Generators,” AIAA Paper No. 85-0354, New York.

[5] Frank K. Lu, Qin Li, Chaoqun Liu (2012), “Microvortex generators in high-speed flow”, Progress in Aerospace Sciences, Volume 53, Pages 30-45

[6] Seshagiri, A., Cooper. E., and Traub, L. W. Effects of Vortex Generators on an Airfoil at Low Reynolds Numbers, JOURNAL OF AIRCRAFT Vol. 46, No. 1, 2009.

APLICACIÓN INDUSTRIAL DE MODELOS NUMÉRICOS DE EXTRUSIÓN DE ALUMINIO

Torres Zanardi Juan M. †, Scarabino Ana †, Bacchi Federico † y Principi Luciano ‡

†Grupo de Fluidodinámica Computacional - GFC, Universidad Nacional de La Plata, Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Argentina, juanmanuel.torreszanardi@ing.unlp.edu.ar
‡MADEXA S.A., 182 Nro. 575, Lisandro Olmos, Argentina, info@madexa.com.ar, www.madexa.com.ar

Palabras clave: extrusión, matricería, viscoplasticidad, mecánica computacional

1. INTRODUCCIÓN

La extrusión es un proceso de deformación plástica en el que un bloque de metal ("*billet*" o "tocho") es forzado por compresión a fluir a través de una abertura de sección más pequeña, produciendo uno o varios perfiles con la forma determinada por la sección de salida. Este proceso puede realizarse en frío (en casos de trefilación, por ejemplo) o, más frecuentemente, en caliente, cuando el tocho es precalentado antes de introducirse en la matriz. El diseño de las matrices debe lograr que el material fluya a través de la sección de salida con una velocidad lo más uniforme posible, para evitar que los perfiles se curven y/o alabeen al salir de la matriz. Al mismo tiempo, la matriz debe presentar una alta rigidez estructural para no deformarse significativamente ni romperse ante las elevadas tensiones ejercidas durante el proceso [1].

La relación entre las secciones transversales del tocho de aluminio y los perfiles extruidos puede ser tan grande como 200 a 1 o incluso más. Las grandes deformaciones plásticas sufridas por el material durante la extrusión generan diferencias locales importantes de fricción, velocidad de deformación y generación de calor, por lo que el objetivo de diseñar una matriz que produzca una salida del material a velocidad uniforme constituye un desafío considerable, sobre todo atendiendo a la multiplicidad casi infinita de secciones de perfiles requeridos por la industria: abiertos, tubulares, mixtos, con distintos espesores, etc. La Figura 1 muestra un esquema de un sistema de extrusión y algunos ejemplos de perfiles obtenidos con este proceso. El diseño de una matriz que logre estos objetivos está fuertemente basado en la experiencia y frecuentemente se alcanza mediante un proceso de prueba y error, en el que, a partir de los perfiles generados con una primera matriz, si estos no resultan satisfactorios, se determinan las correcciones a aplicar en ella, o, en su defecto, en una segunda matriz, y así sucesivamente. Este proceso implica demoras de producción y pérdidas económicas tanto para el fabricante de matrices como para el de perfiles.

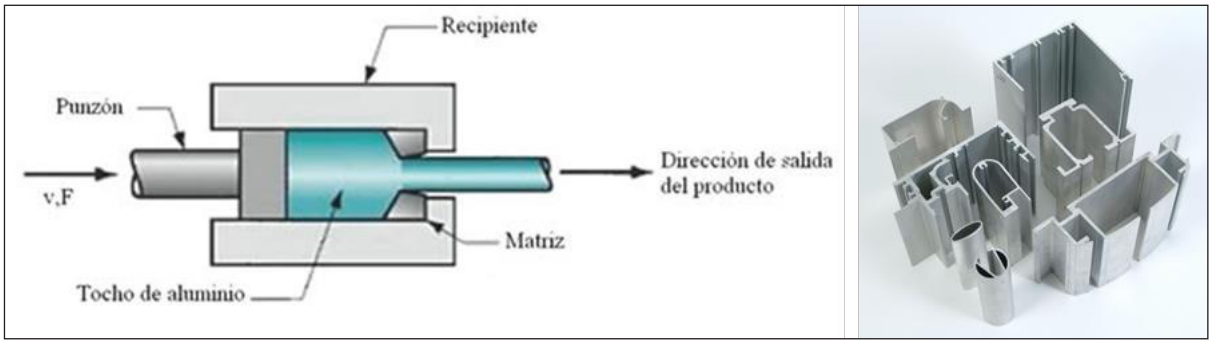


Figura 1: Izquierda, esquema de matriz de extrusión (extraída de Galmak Alüminyum). Derecha, algunos tipos de perfiles (GSH Industries, Inc)

En este contexto, la posibilidad de realizar una predicción numérica de la formación del perfil, detectando posibles problemas antes de iniciar la construcción de la matriz, permite reducir el tiempo de rediseño y ahorrar el material, horas-hombre y horas-máquina destinados a la

modificación de la matriz existente o bien el diseño y fabricación de una matriz nueva para corregir los detalles necesarios con el fin de obtener una extrusión homogénea. Típicamente este proceso de rediseño, a partir de la detección de la necesidad de cambios en una matriz, requiere un mínimo de 3 a 5 horas-hombre de ingeniería y producción más el uso de materiales y maquinaria, para el fabricante de la matriz, y 48 a 72 horas de demora en el inicio de la producción para el fabricante de perfiles, implicando pérdidas económicas para ambos. Al mismo tiempo, la aplicación del método de Elementos Finitos (FEM) a los procesos de extrusión permite identificar la influencia de distintos parámetros, como temperatura inicial del tocho o velocidad de desplazamiento del punzón, en variables como los esfuerzos a los que se somete la matriz, temperaturas del material, distribución de tensiones y velocidades de deformación del material, etc, constituyendo una valiosa herramienta de investigación, como se ha demostrado en numerosas publicaciones [2,3].

2. METODOLOGÍA

Para el análisis de las tensiones, deformaciones y temperaturas en el interior del material durante la extrusión, existen varios modelos disponibles. Un modelo estándar ampliamente utilizado y validado es considerar que el comportamiento del material durante la extrusión en caliente es similar al de un fluido no newtoniano en el que la viscosidad aparente es función de la velocidad de deformación y de la temperatura [3]. Este modelo es aplicado en módulos específicamente destinados a simular procesos de extrusión, tanto de metales como de plásticos y otros materiales, en distintos programas comerciales, como Ansys® Polyflow, Altair Extrude® o QForm®, y es el que utilizamos en los resultados de este trabajo.

Las ecuaciones a resolver por el software son las de conservación de masa, cantidad de movimiento para un flujo muy viscoso (Stokes) y energía, teniendo en cuenta su acoplamiento a través de la generación de calor por el trabajo de deformación y el cambio de viscosidad asociado a los cambios de temperatura y de velocidades de deformación.

$$\nabla.\mathbf{V} = 0$$
$$\nabla.\left(-P\,\mathbf{I} + \boldsymbol{\sigma}\left(\dot{\gamma},T\right)\right) = 0$$
$$\rho C_p(T)\frac{\partial T}{\partial t} = -\rho\left(\mathbf{V}.\nabla\right)T + \nabla.\left(k\nabla T\right) + \boldsymbol{\sigma}\left(\dot{\gamma},T\right):\mathbf{D}$$

En estas ecuaciones, las cantidades **D**, *P*, **I**, **σ**, **V**, *T*, $\dot{\gamma}$, *ρ* y C_p, representan respectivamente al tensor velocidad de deformación, la presión, el tensor identidad, el tensor desviador de tensiones, el vector velocidad del flujo, la temperatura, la velocidad de deformación angular, la densidad y el calor específico del material a presión constante. Las tensiones son función de la temperatura y de la magnitud de $\dot{\gamma}$, definido como

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{2}{3}D_{ij}D_{ij}\right)^{1/2}, \quad \text{con} \quad \mathbf{D} = \frac{1}{2}\left(\nabla\mathbf{V} + \nabla\mathbf{V}^T\right)$$

La relación entre tensiones, velocidad de deformación y temperatura se obtiene mediante ecuaciones de ajuste de los datos experimentales. Un modelo de uso común es el de ”Seno hiperbólico inverso”, cuyos parámetros se definen en la referencia [4].

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\alpha}\sinh^{-1}\left[\left(\frac{1}{A}\dot{\gamma}e^{\left(\frac{Q}{RT}\right)}\right)^{\frac{1}{n}}\right]$$

La figura 2 muestra la no linealidad de la relación entre tensión, velocidad de deformación y temperatura para un aluminio AA6063, que responde adecuadamente a este modelo.

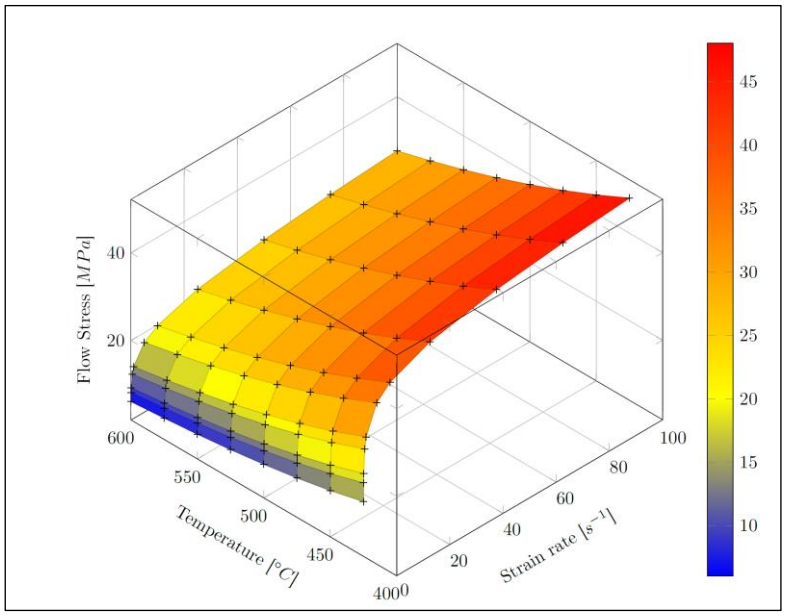


Figura 2: Relación entre tensión, velocidad de deformación y temperatura para el alumnio AA6063.

Aún cuando debido a las altas viscosidades se desprecian los términos de aceleración convectiva en la ecuación de cantidad de movimiento (flujo de Stokes), el conjunto de ecuaciones a resolver es fuertemente no lineal y requiere formulaciones iterativas que demandan tiempos de cómputo considerables.

La metodología de trabajo entre los distintos actores consta de los siguientes pasos:

- A partir del pedido del cliente (empresa productora de perfiles de aluminio), la empresa fabricante de matrices genera el diseño y la geometría en CAD de la matriz para el perfil deseado. El cliente determina parámetros tales como el diámetro de los tochos de aluminio y del contenedor, la temperatura de precalentado del mismo, la capacidad de la prensa que empuja el punzón, la velocidad de desplazamiento del mismo, etc.

- La empresa suministra el CAD. Como este está preparado para producción y no para simulación, la geometría pasa por un proceso de depuración para eliminar detalles que puedan provocar errores numéricos o problemas de convergencia.

- Se genera una malla híbrida con elementos tetraédricos, excepto en la salida del perfil, donde se utilizan prismas alineados con la dirección de extrusión.

- Se configura el solver estableciendo las relaciones constitutivas del material.

- Se resuelven las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía, con un abordaje ALE (Arbitrary-Lagrangean-Eulerian) [4].

- Los resultados son postprocesados, siendo el principal elemento de control de calidad de la matriz (física) la uniformidad de la velocidad del material a través de la sección de salida y la ausencia o minimización de componentes de velocidad lateral que produzcan una curvatura de los perfiles, provocando que estos no se encuadren en las dimensiones de la geometría del plano provisto por el cliente, dentro de las tolerancias según norma IRAM-699. También se puede verificar en esta etapa que las tensiones que se generan en la matriz no provoquen

deformaciones o riesgo de rotura de la misma y que la fuerza a aplicar sobre el tocho no exceda la capacidad de la prensa disponible, además de resultados adicionales de potencial interés, como distribución de tensiones, temperaturas, campo de velocidades, etc.

Una malla adecuada para la simulación de extrusión requiere en el orden de los 2-3 millones de elementos, dependiendo naturalmente de la complejidad de la matriz y los perfiles a producir. La convergencia para residuos ponderados de 1e-4 suele alcanzarse en cerca de 30 iteraciones no lineales, que conllevan un tiempo total de cómputo aproximado de 4 horas por millón de elementos (es decir, típicamente 8 a 12 horas) en una Workstation con 2 CPU Intel Xeon E5-2640 v3, cada uno de 8 núcleos físicos, y 64 GB de RAM.

3. EJEMPLO DE CÁLCULO

Se ilustra el trabajo con los resultados obtenidos con el programa comercial Inspire Extrude® para una matriz diseñada para producir seis perfiles iguales en cada ciclo de trabajo. En este caso, los requisitos de producción imponían que los seis perfiles tuvieran la misma orientación horizontal, de modo que su distribución radial no podía ser periódica ni simétrica.
Se observa que los resultados obtenidos con el primer diseño no son satisfactorios, ya que aparecen diferencias importantes de velocidad entre los distintos perfiles, y también localmente en cada salida. En función de estos resultados, se rediseñó la matriz, y se logró una salida mucho más homogénea, como muestra la figura 4b). Las variaciones de velocidad a la salida pasaron de -72 % - +92% (con componentes laterales que producían alabeos en la sección y curvatura del eje de algunos de los perfiles) a desvíos de -3.7% - +6.6%, resultados dentro del rango considerado muy aceptable.

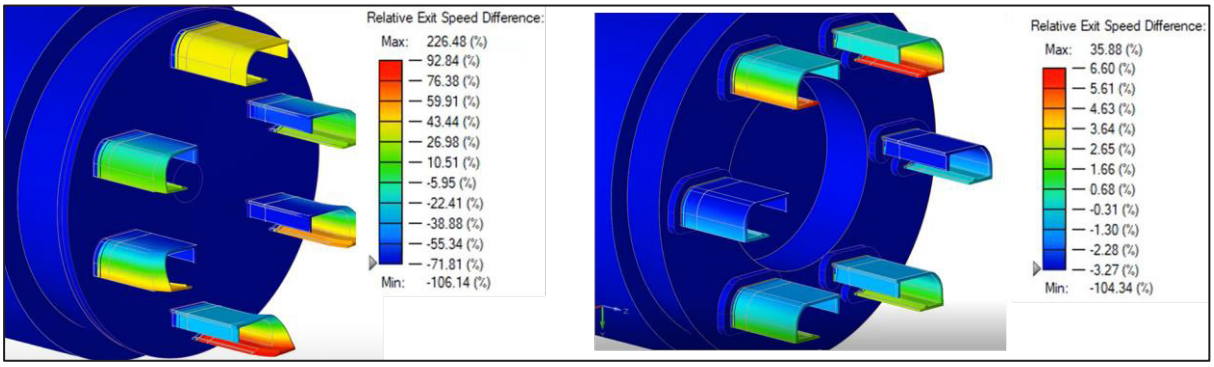


Figura 4: Resultados de extrusión de una matriz para perfiles múltiples. Izquierda: diseño original, Derecha, diseño modificado en base a los resultados obtenidos en el diseño original.

4. CONCLUSIONES

Se ha descripto el proceso de simulación del proceso de extrusión de perfiles de aluminio, con las complejidades matemáticas del modelado del metal sometido a grandes deformaciones viscoplásticas. Se ha mostrado en un ejemplo de cálculo cómo, en función de los resultados numéricos, fue posible rediseñar una matriz que mejoró significativamente la calidad de los perfiles producidos con ella. La utilización de herramientas numéricas para la evaluación y el rediseño de matrices ha probado en la práctica ser rentable para una Pyme local, al reducir los costos y tiempos asociados a la construcción, entrega, prueba y recuperación de una matriz que requiere rediseño. Adicionalmente, el diferencial en la calidad de sus productos obtenido gracias a la simulación redunda en una mayor satisfacción de los clientes y contribuye a una imagen empresarial innovadora.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en un convenio de cooperación entre la empresa Madexa S.A. y el Grupo de Fluidodinámica Computacional de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Los autores agradecen a Diego Principi, presidente de Madexa S.A., por su iniciativa para trabajar en colaboración explorando las posibilidades de la Mecánica de Fluidos Computacional para la simulación de extrusión de perfiles de aluminio, y por toda la información brindada sobre los aspectos técnicos y comerciales de este proceso.

Este trabajo fue presentado en el VIII Congreso de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial, MACI 2021.

REFERENCIAS

[1] P.K. SAHA, *Aluminum Extrusion Technology,* Ch. 1, ASM International, 2000.

[2] N. FIÉTIER, Y. KRÄHENBÜHL, M. VIALARD, *New methods for the fast simulations of the extrusion process of hot metals*, Journal of Materials Processing Technology 209 (2009), pp. 2244–2259.

[3] S. LOU, G. ZHAO AND R. WANG, *Aluminum alloy profile extrusion simulation using finite volume method on nonorthogonal structured grids,* Engineering Computations 29-1 (2011), pp.31-47.

[4] L. DONATI, A. SEGATORI, A. GAMBERONI, B. REGGIANI, L. TOMESANI A, *Extrusion Benchmark 2017: Effect of die design on profile quality and distortions of thin C-shaped hollow profiles,* Materials Today: Proceedings 10 (2019) pp. 171–184.

[5] J. DONEA, A. HUERTA, PH. PONTHOT, AND A. RODRÍGUEZ-FERRAN, *Arbitrary Lagrangian-Eulerian methods,* The Encyclopedia of Computational Mechanics, Wiley, Vol. 1, Chapter 14 (2004), pp. 413-437.

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE UN ALA FLAPEADA CON UNA HÉLICE EN CONFIGURACIÓN PUSHER EN FLUJO TURBULENTO

Echapresto Garay, Iban*, Marañón Di Leo, Julio*, Delnero, Juan S.* y Donati, Javier*

Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia: Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental. UIDET-LaCLyFA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP. Calle 116 s/n entre 47 y 48, 1900, La Plata, Argentina. Email: iban.echapresto@ing.unlp.edu.ar

*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. CONICET. Av. Rivadavia 1917, C1033AAJ, CABA, Argentina.

Túnel de viento, ensayo, aerodinámica, perfiles delgados, bajo Reynolds.

Introducción

El interés en el estudio de la configuración pusher o de empuje está creciendo debido a su aplicación en vehículos aéreos no tripulados (VANT) [1, 6]. En algunos casos particulares, esta configuración ofrece un mejor desempeño de la hélice, ya que la velocidad de entrada del aire es inferior debido a la presencia del ala, y de la misma manera, mejora el desempeño del ala, ya que se encuentra un flujo sin perturbaciones [4]. Estos resultados son dependientes de la posición relativa de la hélice y el ala [2]. En el presente trabajo, debido al bajo número de Reynolds, la presencia de la hélice corriente abajo afecta al ala corriente arriba. Otro beneficio de la configuración de empuje es que se ve aumentado el ángulo de pérdida del ala [3], en la zona de la hélice y hasta dos veces y media el radio de esta, por la adhesión del flujo a causa de la succión [5].

Este trabajo y otros previamente [7, 8 y 9] han sido motivados por un efecto observado en una aeronave experimental, donde luego del cambio de motorización se observó una importante vibración en los flaps del ala, y luego de que se aumentó mínimamente la distancia relativa entre la hélice y el ala, este efecto disminuyó considerablemente. A diferencia de los trabajos anteriores, las mediciones para el presente trabajo fueron realizadas sobre un nuevo modelo con mayor cantidad de tomas de presión y con instrumental capaz de adquirir a una frecuencia mayor, con el objetivo de determinar la naturaleza fluctuante del fenómeno.

Desarrollo y Discusión

Se construyó un modelo de ala dotada de un flap simple que ocupa toda la envergadura. La cuerda del flap se corresponde con un 35% de la cuerda del modelo. Fue instrumentado con 64 tomas de presión distribuidas principalmente en el flap de manera de formar una grilla que ocupe la mayor cantidad posible de la envergadura tanto en el extradós como en el intradós. También al 75% del radio de la hélice, por motivos que se explicaran luego, se dispusieron tomas de presión a lo largo de la cuerda a ambos lados del eje del motor. En la figura 1 se puede observar la distribución de las tomas de presión.

El ala tiene un perfil NACA 4412, con 0,3 m de cuerda y 0,8 m de envergadura. El eje del motor coincide con la mitad del modelo y con la cuerda del ala. Fue diseñado para mantener fija la posición relativa entre la hélice y el flap cuando se cambia el ángulo de ataque del ala, aunque en este trabajo sólo se realizaron ensayos a 2,5° de ángulo de ataque geométrico. En cada extremo del ala se dispusieron placas para lograr que el flujo sea lo más bidimensional

posible y mitigar el efecto de los vórtices de punta de ala, como puede observarse en la figura 2.

La distancia entre la hélice y el ala puede modificarse longitudinalmente en el eje del motor. Se ensayaron dos posiciones P0 y P1, donde P0 indica que la distancia entre la hélice y el flap es de media longitud del radio de la hélice y P1 de un cuarto del radio.

El ángulo de deflexión del flap es controlado mediante dos servo-motores, dicho ángulo fue modificado desde 0° hasta 30° con un paso de 10°, es decir, se realizaron ensayos a 0°, 10°, 20° y 30° de deflexión del flap. Por otro lado, también se utilizaron dos tipos de hélice, una de dos palas y otra de tres palas.

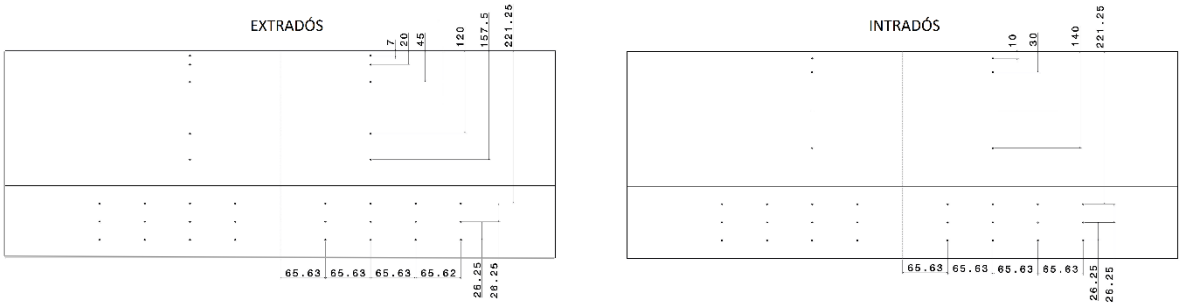


Figura 1: Distribución de tomas de presión.

Las mediciones de presión se realizaron con cuatro escáneres Scanivalve DSA 3217-16Px a 500Hz durante 8 segundos, resultando en 4000 muestras por cada toma de presión para cada configuración.

A partir del criterio de Nyquist, se calculó la máxima velocidad del motor en 7500 RPM para la hélice de dos palas y de 5000 RPM para la hélice de tres palas. De esta manera se realizaron los ensayos con entre 0 y 4000 RPM.



Figura 2: Modelo en túnel de viento.

Todos los ensayos fueron realizados en el túnel de viento de circuito cerrado de la UIDET-LaCLyFA de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Este túnel tiene una sección de prueba de 1x1,4m y una velocidad máxima de 20m/s. Para este trabajo se utilizaron dos velocidades, 5m/s y 10m/s que se corresponde con los números de Reynolds de 180000 y 350000 respectivamente.

Antes de la realización de los ensayos se realizaron mediciones de velocidad con anemometría de hilo caliente para caracterizar el túnel de viento. De esta manera se estableció una intensidad de turbulencia mínima de 1,8%. En la figura 3 se puede observar una distribución de velocidad vertical en la mitad de la sección de prueba donde y=0mm coincide con el piso del túnel.

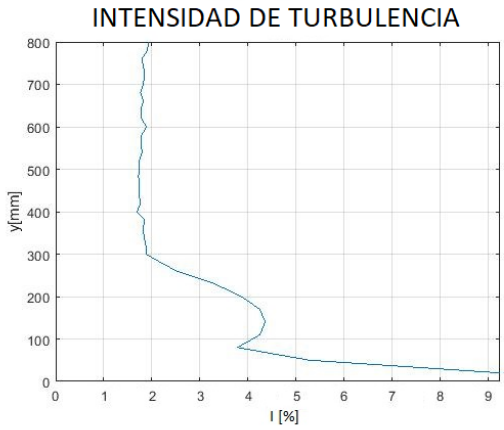


Figura 3: Distribución vertical de intensidad de turbulencia.

Luego para cambiar la intensidad de turbulencia se utilizaron los resultados descriptos en la referencia [10], donde se indica que anteponiendo al modelo un panel de tubos de 100mm de diámetro en forma de panal de abejas a una distancia de 1,5m corriente arriba, se obtiene una intensidad de turbulencia de 3,5%. La figura 4 muestra la distribución vertical de intensidad de turbulencia con el panel antes descripto, en este caso y=0mm coincide con la mitad de la altura de la sección de prueba.

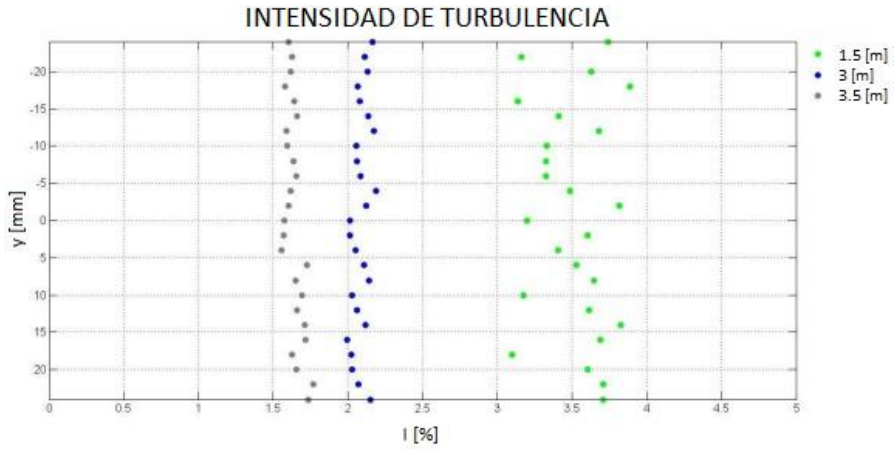


Figura 4: Distribución vertical de intensidad de turbulencia con panel.

En la figura 5 se observa el panel desde la perspectiva del motor. Los ensayos denominados con TUR 1 significan que cuentan con una intensidad de turbulencia de 1,8% y los denominados con TUR 2, una intensidad de turbulencia de 3,5%.

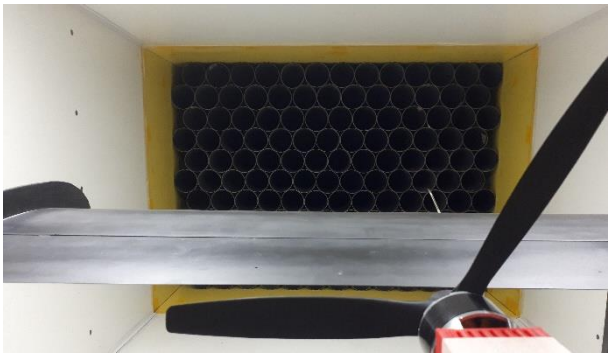


Figura 5: Panel visto desde el motor.

En este trabajo se analiza la influencia sobre la distribución de presión en el flap de la turbulencia, la posición relativa entre el ala y la hélice, la velocidad de la corriente libre, las RPM del motor, la deflexión del flap y la cantidad de palas de la hélice. Para comparar el efecto de cada variable por separado se analizó la evolución temporal de la presión en un grupo representativo de tomas de presión. Este grupo se encuentra al 75% del radio de la hélice, tanto en el extradós como en el intradós y a ambos lados del eje del motor.

Para determinar la influencia de la intensidad de turbulencia se muestra la densidad espectral de potencia (PSD) en el caso donde la velocidad de la corriente libre es de 5m/s, para 20° de deflexión del flap, la posición P1 y la hélice de dos palas en la figura 6. Se observa el pico de mayor energía a 116,7Hz para el caso de 3500 RPM (TUR1) y 117,3 Hz para el caso de 3520 RPM (TUR2), donde si bien no coinciden las RPM se puede observar que a menor intensidad de turbulencia se obtiene un pico más alto. También se observan picos de menor energía que se atribuyen al desbalanceo inherente de la hélice.

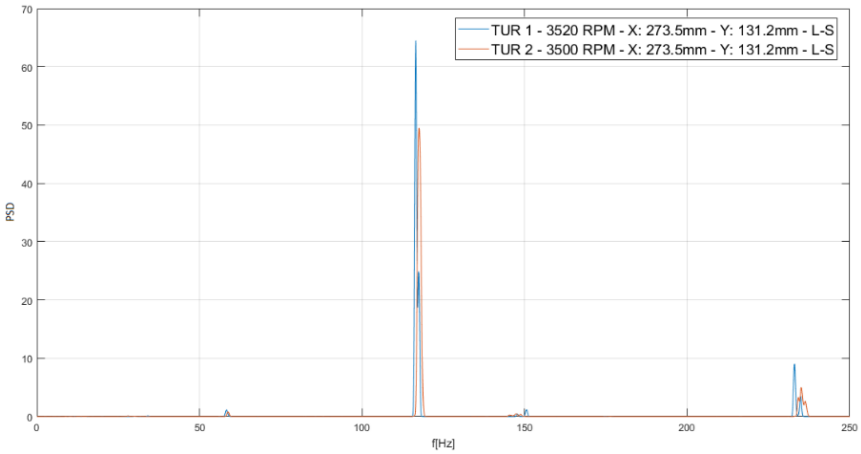


Figura 6: Densidad espectral de potencia.

Para verificar que lo observado como efecto de la intensidad de turbulencia tenga su origen en la interacción aerodinámica de la hélice y el flap, y no en una interacción mecánica dada por posibles transmisiones de vibraciones desde el motor y el túnel de viento, se estudiaron tres tomas de presión ubicadas en distintas estaciones de la envergadura del modelo, pero a la misma distancia longitudinal de la hélice. Una ubicada al 37,5% del radio de la hélice, otra al 75% y la última al 112,5%. De la teoría de hélices se sabe que el mayor efecto se observa al 75% del radio de la hélice y a una distancia menor o mayor, el efecto es menor. En la figura 7 se observa que el origen de la interacción es aerodinámico.

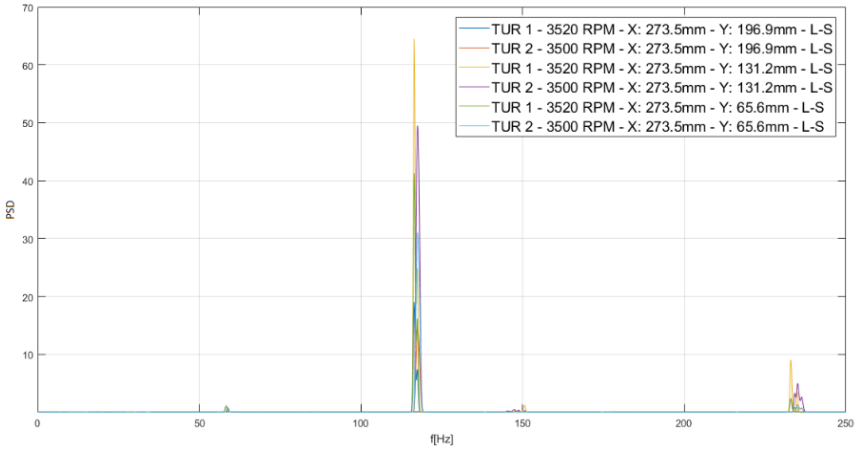


Figura 7: Origen aerodinámico de la interacción.

Como fue mencionado anteriormente, el efecto de la hélice sobre el ala depende de la posición relativa entre ambos. Esto pudo comprobarse con los ensayos realizados, ya que para el caso de P1 donde la distancia es menor se observa una presión media mayor que para el caso de P0.

Cuando se analiza la influencia de la corriente libre, podemos observar que cuando esta es mayor se produce una disminución del efecto de la hélice, ya que empuja el flujo corriente abajo. Sin embargo, esta situación no es comparable con la realidad ya que en vuelo la velocidad de la corriente libre depende de la velocidad de la hélice.

Al aislar el efecto de la velocidad de la hélice, es decir de las RPM del motor, dejando las demás variables fijas, se observa que la señal de presión se ve fuertemente influenciada por ésta. Al estudiar la respuesta temporal de la presión se puede determinar el paso de cada pala, como se observa en la figura 8 para el caso de 2 palas y en la figura 9 para el caso de tres palas.

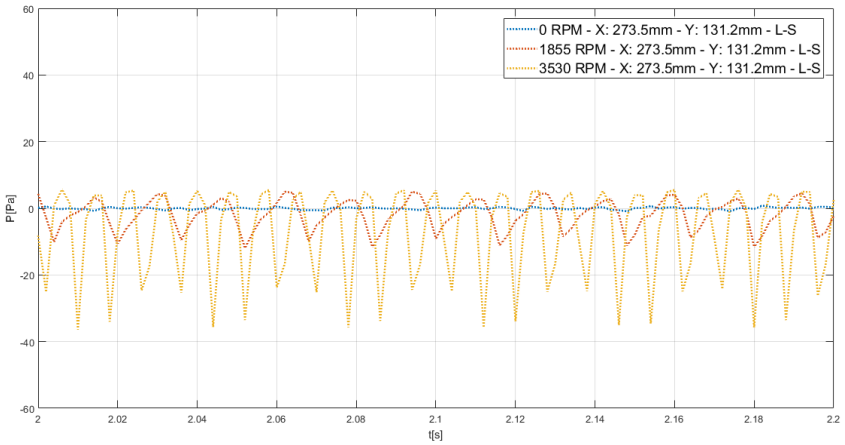


Figura 8: Hélice de 2 palas.

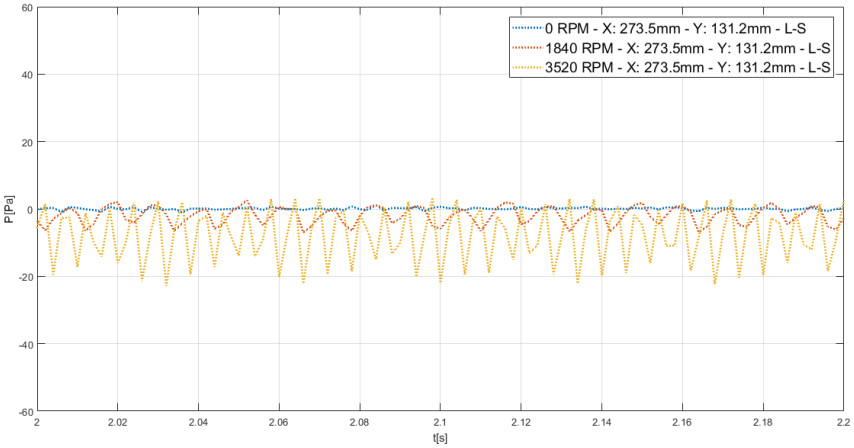


Figura 9: Hélice de 3 palas.

Así mismo, en las figuras 8 y 9 se observa que la cantidad de palas influye en el periodo de la señal de presión y en la ubicación de los picos en la densidad espectral de potencia.

Por otro lado, no se observaron diferencias considerables en la presión media al cambiar el ángulo de deflexión del flap, más allá de lo observado en un ala con flap sin hélice en configuración pusher.

Conclusiones

Se realizó satisfactoriamente el análisis de las variables que afectan el campo fluido dinámico producido entre un ala con un flap simple y una hélice en configuración de empuje. Se observó el efecto de la hélice sobre el ala en el período de las señales de presión coincidente con las RPM del motor y en los picos de la PSD de las tomas de presión ubicadas al 75% del radio coincidentes con la frecuencia de paso de la hélice.

Para entender el fenómeno aerodinámico, se estudiaron las variables que afectaban el sistema de manera aislada, manteniendo fijas las demás. Se pudo confirmar, como así indicaba la bibliografía precedente, la dependencia con la posición relativa de la hélice y el ala. De la misma manera, se pudo observar una dependencia del fenómeno con la intensidad de turbulencia y con la velocidad de la corriente libre. Concluyendo que, a mayor intensidad de turbulencia, menor es el efecto de la hélice sobre el comando. Y lo mismo se observa cuanto mayor es la velocidad de la corriente libre, es decir, menor es la influencia de la hélice sobre el flap.

Bibliografía

[1] Raymer, D. P. (1992). *Aircraft Design – A Conceptual Approach*. AIAA Education Series.

[2] Catalano, F. M. (2004). *On the effects o fan installed propeller slipstream on wing aerodynamic characteristics*. Acta Polytechnica Vol 44 No. 3.

[3] Sandahl, C. A. (1945). Wind-tunnel investigation of effects of a pusher propeller on lift, profile drag, pressure distribution, and boundary-layer transition of a flapped wing. Advance Confidential Report L5CO8 NACA.

[4] Soderman, P. T., Horne, W. C. (1990). *Acoustic and Aerodynamic Study of a Pusher-Propeller Aircraft Model*. NASA Technical paper 3040.

[5] Dunham, D.M., Gentry, G.L.Jr., Manuel, G.S., Applin, Z.T., Quinto, P.F. (1987). *Low-Speed Aerodynamic Characteristics of a Twin-Engine General Aviation Configuration with Aft-Fuselage-Mounted Pusher Propellers*. NASA Technical paper 2763.

[6] Choi, S., Ahn, J. (2010). *A Computational Study on the Aerodynamic Influence of a Pusher Propeller on a MAV.* 40th AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit.

[7] Corsaro, J., Hernandez, C.S., Marañón Di Leo, J., Rimoldi, C. (2012). *Efectos Fluidodinámicos sobre un ala debido a una configuración pusher*. XII Reunión sobre Recientes Avances en Física de Fluidos y sus Aplicaciones.

[8] Savloff, N., Marañón Di Leo, J., Trochez Segura, J.M., Gómez, L. (2014). *Efectos aerodinámicos de Hélices Pusher sobre un Flap en el Ala*. Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica.

[9] Algozino, S., Marañón Di Leo, J., Delnero, J.S., Echapresto Garay, I. (2016). *Aerodynamic Study of a Pusher-Propeller effects on a simple flap.* 34th AIAA Applied Aerodynamics Conference.

[10] Aramburu Orihuela, A., Morales J. I., Algozino, S., Marañón Di Leo, J. (2016). *Influencia de la turbulencia en las características aerodinámicas de perfiles de bajo Raynolds.* Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica.

DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE PRESURIZACION DE UN VEHICULO LANZADOR

Mantelli Pablo M.; Berón Tomas V. & Delnero Juan S

CTA Centro Tecnológico Aeroespacial
Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP. Calle 116 s/n entre 47 y 48, 1900, La Plata, Argentina – email: pablo.mantelli@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Lanzadores; Presurización; Tuberías

Introducción:

El sistema de presurización de un vehículo lanzador es el encargado de proporcionar las condiciones necesarias para que el suministro del combustible y oxidante sea el adecuado para generar y garantizar el empuje deseado en el propulsor permitiendo el despegue del vehículo de forma controlada y estable. Los sistemas de presurización para la propulsión del vehículo se rigen bajo el mismo concepto, poder establecer un flujo másico constante en las líneas que alimentan a la cámara de combustión conformando una mezcla particular para una condición.

La clasificación de estos sistemas deriva en la forma de energía suministrada, por ejemplo mediante la aplicación de gas a presión o la variación del volumen de los tanques o bien suministrando cantidad de movimiento a los fluidos de forma mecánica. En el siguiente diagrama se plantea una clasificación amplia en cuanto a sistemas disponibles de presurización [1].

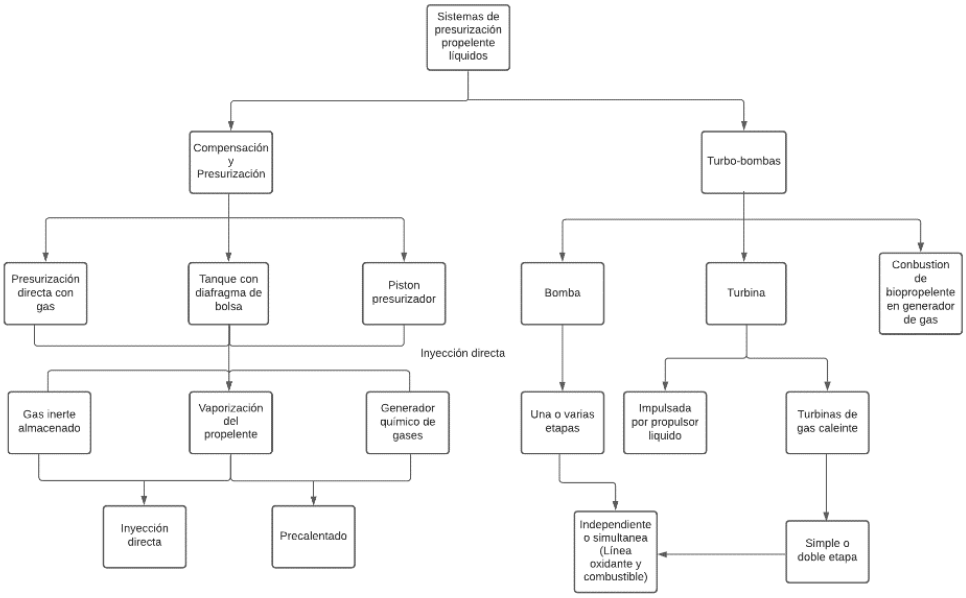


Figura 1- Sistemas de presurización

De todas las variantes dos de los sistemas más utilizados son el sistema de alimentación de gas presurizado y el sistema de alimentación por bombas. En el sistema de alimentación de gas presurizado, se inyecta un gas inerte en los tanques de propelentes asegurando un valor de presión elevado. Esta presión es la que desplaza el combustible y oxidante y además garantiza el valor adecuado de presión en la entrada de la cámara de combustión. Una desventaja de esta configuración es que al usar presiones elevadas se

necesita en los tanques de propelentes una cantidad de gas elevada y un reservorio de gran tamaño para almacenar el mismo, incrementando el peso del vehículo.

Los motores cohetes con sistemas de alimentación de gas presurizado resultan más robustos y confiables, debido a la simpleza de actuación del mecanismo y por lo tanto también resultan más económicos. El primer vehículo espacial presentaba un sistema de alimentación presurizado por gas (Goddard 1926). Desde entonces, ha habido dos tipos comunes de sistemas de alimentación presurizados y ambos se utilizan para ciertas aplicaciones en la actualidad. El primero usa un regulador de presión de gas en la línea de alimentación o suministro generando una compensación constante de la presión llevando al propulsor a funcionar a una presión del tanque constante y empuje casi invariante. Figura 2.

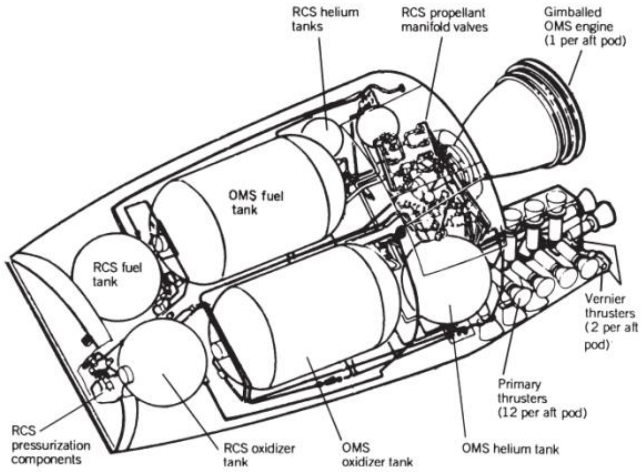


Figura 2 - Sistema propulsor presurizado

El segundo tipo de sistema de alimentación a presión de gas se llama “pre-purga en sistema de alimentación”. En estos, los tanques de propelentes se agrandan porque almacenan no solo los propulsores sino también el gas de presurización a la presión máxima inicial del tanque. No hay tanque de gas de alta presión separado ni regulador de presión. La expansión del gas ya en los tanques prevé la expulsión de los propelentes de sus tanques. El sistema de purga puede ser más ligero que un sistema de presión regulada, pero el empuje y las presiones disminuyen constantemente a medida que se consumen los propulsores por lo que la eficiencia de los motores también se reducen.

Dentro de este mismo sistema podemos encontrar algunas variantes en cuanto al gas utilizado para la presurización. Este puede ser inyectado en los tanques de forma directa, puede precalentarse previo a la inyección aprovechando la expansión del gas y así reducir el volumen de los tanques auxiliares o bien se puede evaporar una porción del combustible criogénico precalentándolo y reinyectándolo en el tanque. El otro sistema es el de alimentación por bomba. En esta configuración el desplazamiento de los propelentes es logrado mediante una bomba instalada aguas arriba de la cámara de combustión. Esta bomba eleva la presión del combustible y oxidante para que entre a los inyectores con los valores adecuados. En este caso el sistema de presurización solo debe garantizar una presión mínima en los tanques de propelentes de manera que a la entrada de la bomba exista un valor de presión mínima para evitar la cavitación de la misma. En la mayoría de las configuraciones se utiliza una turbobomba, estas turbinas derivan su poder de la expansión de gases calientes, es decir, de la línea principal de propelentes se extrae una proporción, la

cual se hace combustionar en una cámara interna (generador de gases) y dichos gases son inyectados en la turbina. Los motores con turbobombas son preferenciales para vehículos de lanzamiento espacial de gran tamaño y gran carga útil (alto empuje y duración). Suelen ser más ligeros que otros tipos de sistema debido a la reducción de carga no útil derivada de la eliminación de tuberías tanques y accesorios adicionales [2] [3].

En el presente trabajo se realiza el diseño conceptual de dos sistemas de presurización para un vehículo lanzador de mediano porte; con alimentación por gas con regulador de presión y alimentación por turbobomba para el caso de una primera etapa. En ambos se plantean los unifilares correspondientes con los componentes básicos. Desde un punto de vista analítico se realiza el cálculo de la cantidad de masa presurizante necesaria para garantizar un valor de presión y caudal másico en la entrada del motor.

Desarrollo y discusión:

Se plantean las siguientes problemáticas; en un estado inicial previo al encendido del motor, los tanques se encuentran cargados, ambos a una presión interior suficiente, que otorga un valor adecuado de presión a los propelentes, que asegure el caudal. Al comenzar la ignición y el despegue, el nivel en dichos contenedores comienza a bajar, la presión por ende disminuye y el flujo másico se reduce desplazando el punto de funcionamiento óptimo del motor. Para conseguir que el caudal se mantenga constante y sea el requerido, se debe suministrar energía al sistema, la energía para estas funciones proviene de un gas a alta presión almacenado en un tanque auxiliar, bombas centrífugas con diferentes accionamientos, o una combinación de las dos. Para resolver este inconveniente se proponen 2 sistemas de presurización donde se plantea el diseño básico y un cálculo preliminar analítico de la cantidad de masa presurizante. En los esquemas siguientes se expondrán los unifilares conceptuales de ambos sistemas de presurización así como la descripción de su funcionamiento.

En el sistema presurizado sin bomba, el gas presurizado parte del tanque de compensación de helio, este se dirige hacia el regulador de presión el cual establece la presión requerida en la línea de LOX (Oxidante) y CH4 (Combustible). (Figura 3). Se distingue una válvula de presurización la cual permanece cerrada hasta el momento de la compensación en el lanzamiento. De forma simétrica en el tanque de LOX y CH4 se distingue un arreglo de válvulas conformado por un venteo de seguridad ante sobrepresiones, una válvula de chequeo o anti retorno que evita la mezcla del combustible con el oxidante en la rama de presurización ante recirculaciones.

Aguas abajo de los tanque se puede distinguir un filtro, cuyo fin es retirar en última instancia, cualquier partícula invasiva no deseable que modifique la reacción de combustión. Por último, previo a ingresar el combustible en la cámara del motor, se observan dos válvulas que comandan el arranque del motor. Las variantes a este unifilar principalmente son, la independización de la compensación para cada tanque, el número de reguladores de presión, y elementos auxiliares necesarios para la carga del vehículo, además de los elementos de seguridad.

En el caso de sistemas de presurización con bomba, los componentes que encontramos a medida que se recorre el circuito son los mismos, sin embargo la principal diferencia entre ambos son las presiones a las que se encuentran sometidos los tanques y

por ende las válvulas filtros y reguladores de presión, ya que únicamente se requiere de una presión suficiente, en la entrada de la bomba, que le permita trabajar en una zona donde la cavitación se reduzca al mínimo aceptable para mantener la integridad de la misma.

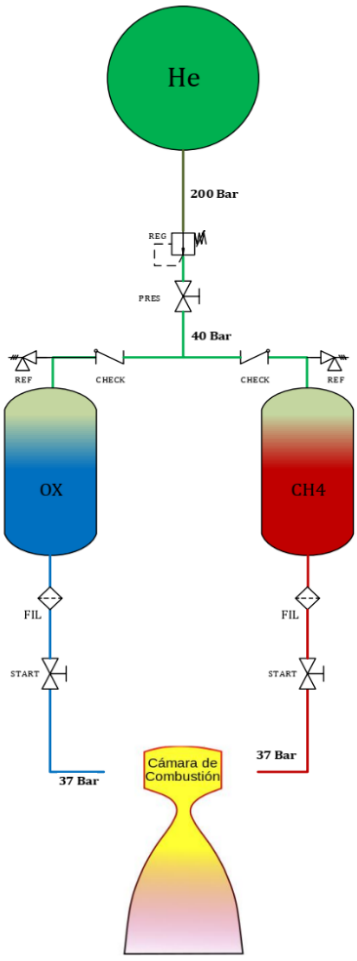


Figura 3 - Sistema Presurizado

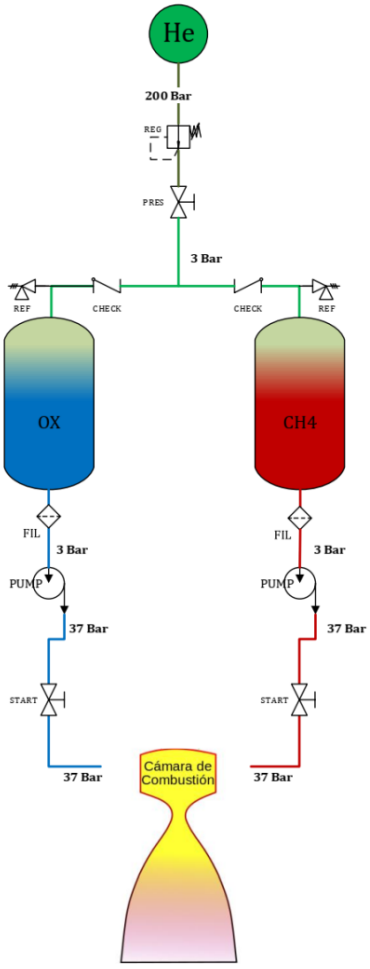


Figura 4 - Sistema de presurización – Con bomba

Para ambos sistemas hay que realizar un análisis fluidodinámico que permita determinar la presión en los tanques de propelentes que garantizan las condiciones de presión y caudal en la entrada de los inyectores de la cámara de combustión. Se deberán tener en cuenta las pérdidas por fricción en las tuberías y pérdidas de carga por accesorios que se encuentren en las dichas líneas. Del análisis se determinará la cantidad de masa del presurizante para cumplir con dicho requerimiento.

Para el cálculo se supone que el gas almacenado en el reservorio se encuentra a temperatura ambiente y se realizará una expansión adiabática del mismo, que se comporta como un gas ideal y se puede aplicar la conservación de energía. Dado que el tanque de propelentes a menudo tiene algo de aislamiento y que el funcionamiento de los motores cohete es corto, el proceso de expansión será cercano a uno adiabático. Además, se asume que no hay evaporación del propelente líquido, que el gas es inerte, no se disuelve en el propelente y no hay salpicaduras ni vórtices.

Supongamos que la condición inicial en el tanque del gas viene dada por el subíndice *0* y las condiciones instantáneas en el tanque del gas (reservorio de He) por el

subíndice *g* y en el tanque del propelente por el subíndice *p*. La energía del gas después y antes de la expulsión del propelente es [1]:

$$m_g c_v T_g + m_p c_v T_p + p_p V_p = m_0 c_v T_0$$

Con la ecuación de gas ideal se llega a:

$$c_v P_g V_0 / R + c_v p_p V_p / R + p_p V_p = m_0 c_v T_0$$

$$m_0 = (p_g V_0 + p_p V_p k)/(R T_0)$$

Aquí cv es el calor específico a volumen constante, R es la constante de gas por unidad de masa y k es la relación de calor específico. Esta ecuación se puede expresar como:

$$m_0 = \frac{p_g m_0}{p_0} + \frac{p_p V_p}{R T_0} k = \frac{p_p V_p}{R T_0} \left(\frac{k}{1 - p_g / p_0} \right)$$

El primer término de esta ecuación expresa la masa de gas necesaria para vaciar un tanque de propulsor completamente lleno si la temperatura del gas se mantiene a la temperatura de almacenamiento inicial T0. El segundo término expresa la disponibilidad del gas de almacenamiento en función de la relación de presión a través de la cual se expande el gas. Esta ecuación supone gas ideal, sin transferencia de calor y sin transferencia de masa. Pero para nuestro caso si es importante la transferencia de calor. Esto se debe a factores que aumentan la transferencia de calor entre el gas y la pared. Algunos de estos factores son, la alta presión en el tanque, la gran diferencia de temperatura entre el gas a presión "caliente" y el propelente frío y la pared del tanque, gran capacidad calorífica del tanque de propelente, debido a sus gruesos espesores y mamparos, diseñados para soportar las altas presiones.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado se corrige la masa de presurizante obtenida a partir del cálculo simplificado mediante un factor de colapso K el cual se obtiene experimentalmente ensayando el comportamiento de diferentes gases presurizantes sobre diferentes propelentes líquidos. El factor de colapso K se define como la relación entre la cantidad real de gas que fluye hacia el tanque de propelente “mu” y la cantidad ideal de gas necesaria.

$$K \equiv \frac{(m_u)_{real}}{(m_u)_{ideal}}$$

El valor mu ideal se obtiene a partir de la ecuación obtenida para m0:

$$(m_u)_{ideal} = m_0 \left[1 - \left(P_{pres} / P_0 \right)^{\gamma} \right]$$

El valor K suele variar entre 1 y 3, en nuestro caso el valor utilizado es 2 obtenido de [4]. Como ejemplo de cálculo, para todos los casos la temperatura de He en el reservorio es de 20 °C. Con respecto a los propelentes la cantidad de oxidante LOX es de 300lts y la de combustible CH4 de 100lts. Para el caso sin bomba, la presión inicial en reservorio (P0) de He es de 200 Bar y la presión final en el mismo (Pg) es de 80 Bar. La presión en los tanques de propelentes (Pp) requerida para garantizar caudal y presión en la entrada de los inyectores es de 40 Bar. ¨Para el caso con turbobomba: Presión inicial en reservorio (P0) de He es de 200 Bar y la presión final en el mismo (Pg) es de 10 Bar. La presión en los tanques de propelentes (Pp) requerida para presión en la entrada de la bomba es de 3 Bar.

Tabla 1 – Resultados de masas de presurizantes

Sin bomba	m0 [Kg]	m0 corregido [Kg]	Volumen del reservorio [m3]	Volumen del reservorio corregido [m3]
OX 300[lts]	5.45	8.72	0.16	0.26
CH4 100[lts]	1.81	2.9	0.05	0.08
Con bomba	**m0 [Kg]**	**m0 corregido [Kg]**	**Volumen del reservorio [m3]**	**Volumen del reservorio corregido [m3]**
OX 300[lts]	0.25	0.5	0.0078	0.015
CH4 100[lts]	0.08	1.16	0.0026	0.0051

Conclusiones

En general, un sistema de alimentación a presión de gas proporciona un rendimiento superior al vehículo que un sistema de turbobomba cuando el impulso total o la masa de propelente es relativamente baja (vehículos de pequeño tamaño) En el caso de vehículos lanzadores de mediano o gran tamaño dependerá de la configuración adoptada, ya que es posible tener una primera etapa con sistema presurizado y con turbobomba y con una segunda etapa presurizada o un vehículo ms eficiente donde ambas etapas son con bombas, ya sean estas mediante turbinas o eléctricas.

Si bien el empuje del motor estará dado por la geometría de la tobera, el caudal másico y la presión de la cámara, la presión en los tanques estará dada por el sistema adoptado. En el caso con bombas la presión en los tanques es baja en comparación con sistemas presurizados donde la presión en el tanque será la requerida para obtener la presión de cámara adecuada.

Cualquiera sea la selección del sistema para diseñar o analizar un sistema de presurización es necesario conocer o asumir ciertos datos sobre el tanque y el motor. Esto puede incluir desde parámetros básicos del motor, como el flujo de propulsante, el empuje, la duración, el ancho de pulso, volumen del tanque de propulsor rango de temperatura de almacenamiento, propiedades de gas propulsor y presurizarte, presión del tanque de propulsor, tanque de gas presión o cantidad de propelente residual no disponible. De esta forma se logra adecuar el sistema correctamente a las dimensiones y capacidades del vehículo. El análisis antes realizado deberá ser corregido de acuerdo a diferentes parámetros que nombra la bibliografía, llevándolo a condiciones más realistas o planificar los ensayos adecuados que nos permitan tener más precisión en los cálculos, Teniendo como premisa siempre afinar el cálculo para obtener siempre el menor peso posible.

Bibliografía

[1] Sutton, George P. & Biblarz, O. “Rocket Propulsion Elements”- Editorial : Wiley; 9a edición (Diciembre 2016)

[2] Taylor Travis S. “Introduction to Rocket Science and Engineering”- Editorial: CRC Press; 1er edición (Febrero 2009).

[3] Turner, Marti J.L. “Rocket and Spacecraft Propulsion: Principles, Practice and New Developments” - (Springer Praxis Books) 3rd Edición, 2008.

[4] Rob Hermsen, Rob & Zandbergen, Barry “Pressurization system for a cryogenic propellant tank in a pressure-fed high-altitude rocket” 7th European Conference for Aeronautics and Aerospace Sciences (EUCASS) 2017.

ANÁLISIS DEL EFECTO MAGNUS EN CUERPOS CILÍNDRICOS CON ALETAS DE DIFERENTE CUERDA

Autores
Pezzotti, Santiago; Nadal Mora, Vicente J.; Sanchez, Hadrian; Piechocki, Joaquín

Lugar de ejecución del trabajo
Grupo de Ingeniería Aplicada a la Industria, UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.
Email: santiago.pezzotti@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: efecto Magnus, túnel de viento, visualización del flujo

INTRODUCCIÓN

El efecto Magnus es un fenómeno físico en el que un cuerpo en rotación sumergido en una corriente de fluido experimenta una fuerza de sustentación, además de la fuerza de resistencia aerodinámica. La fuerza de sustentación es perpendicular tanto al eje de rotación, como a la dirección de la corriente libre.

Este efecto fue nombrado en reconocimiento a Heinrich Gustav Magnus (1802-1870), quien fue el primer investigador en estudiar este fenómeno, en 1851. A lo largo de los años, diversos autores han publicado trabajos relacionados con el efecto Magnus [1-14] debido a la gran importancia de sus aplicaciones.

El efecto Magnus puede afectar significativamente el movimiento de un cuerpo en rotación desplazándose en un fluido. Es la causa de la desviación en la trayectoria de proyectiles giratorios y pelotas deportivas, como balones de fútbol, pelotas de golf, pelotas de béisbol, etc. [15-18]. Así mismo, ha sido estudiado para cuerpos en vuelo libre afectados por el viento donde su trayectoria se ve modificada, producto de la rotación [19-24].

En la UIDET GTA-GIAI estudiamos el efecto Magnus desde el año 2009, ya que despertó nuestro interés la importancia de este fenómeno por sus múltiples aplicaciones. En el contexto de esta línea de investigación, que incluye la caracterización de diferentes cuerpos en rotación inmensos en una corriente de fluido, el presente trabajo comprende el estudio experimental del efecto Magnus en un túnel de viento sobre 3 cilindros circulares en rotación, provistos de aletas de diferentes tamaños; allí se midieron fuerzas de sustentación y resistencia aerodinámicas generadas por los cilindros, así como también se realizaron visualizaciones del flujo en el entorno de los modelos.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

En primer lugar, para los ensayos que se presentan, se utilizó un túnel de viento con el objetivo de medir las fuerzas aerodinámicas en función de la velocidad de rotación de los diferentes cuerpos y la velocidad de la corriente de aire. Este túnel, utilizado por Pezzotti [25–26] en el desarrollo de la investigación del efecto Magnus en cuerpos cilíndricos de secciones transversales diversas, es un túnel de viento abierto, cuya área de pruebas es de sección rectangular de 0,2 x 0,2 m, y una extensión longitudinal de 0,3 m. El mismo fue construido exclusivamente para la realización de ensayos asociados al efecto Magnus, por lo que su diseño es acorde a los ensayos de medición de fuerzas y visualización de flujo alrededor de cuerpos en rotación. Se encuentra equipado con una balanza, un motor con un

variador para controlar la velocidad de giro a los cuerpos, y un sistema generador de humo con una luz estroboscópica y cámara fotográfica para la realización de las visualizaciones.

MODELOS

Se construyeron 3 cuerpos de teflón en un torno CNC y se les realizó un acanalado cada 120° mecanizado con una fresa, donde se montaron las diferentes aletas de madera balsa. Así mismo, cada cuerpo posee un extremo roscado donde se atornilla el eje del motor que será el encargado de imprimirles el movimiento de rotación. Los mismos poseen las siguientes características:

- El largo de los 3 cuerpos es de 180 mm
- Diámetro del cilindro: 26 mm
- Aletas cada 120° a lo largo del cilindro
- Espesor de las aletas: 3 mm
- Cuerda de aletas:
  - Cuerpo 1: 3 mm
  - Cuerpo 2: 6 mm
  - Cuerpo 3: 9 mm



Cuerpo 1 Cuerpo 2 Cuerpo 3

Figura 1 – Cuerpos para ensayo en el túnel de viento

ENSAYOS

Se realizaron dos tipos de ensayos. Uno correspondiente a la medición de fuerzas de sustentación (L) y resistencia (D) aerodinámicas en función de la velocidad de la corriente libre (v) y la velocidad de rotación del cuerpo (ω).

Por otro lado, se realizaron ensayos de visualizaciones de flujo en el entorno de los cuerpos mediante la utilización de humo y una cámara fotográfica, con el objeto de conocer el patrón del flujo, caracterizarlos y entender la variación de las fuerzas aerodinámicas generadas.

<u>Ensayos de medición de fuerzas:</u>

Los ensayos para determinar los parámetros mencionados para los 3 modelos se realizaron a las velocidades de rotación de los cuerpos de 1950, 2310, 2520 y 2725 rpm; para las velocidades de la corriente de aire de 5, 8, 10 y 12 m/s.

Los coeficientes aerodinámicos se determinaron según las ecuaciones:

$$C_L = \frac{2L}{\rho S v^2} \qquad C_D = \frac{2D}{\rho S v^2}$$

donde: L es la sustentación, D la resistencia, ρ la densidad del aire, S el área transversal del cuerpo y v la velocidad de la corriente; mientras que las velocidades se adimensionalizaron según la relación $\omega R/v$, siendo ω la velocidad de rotación y R el radio del cuerpo.

Los resultados se resumen en las siguientes figuras:

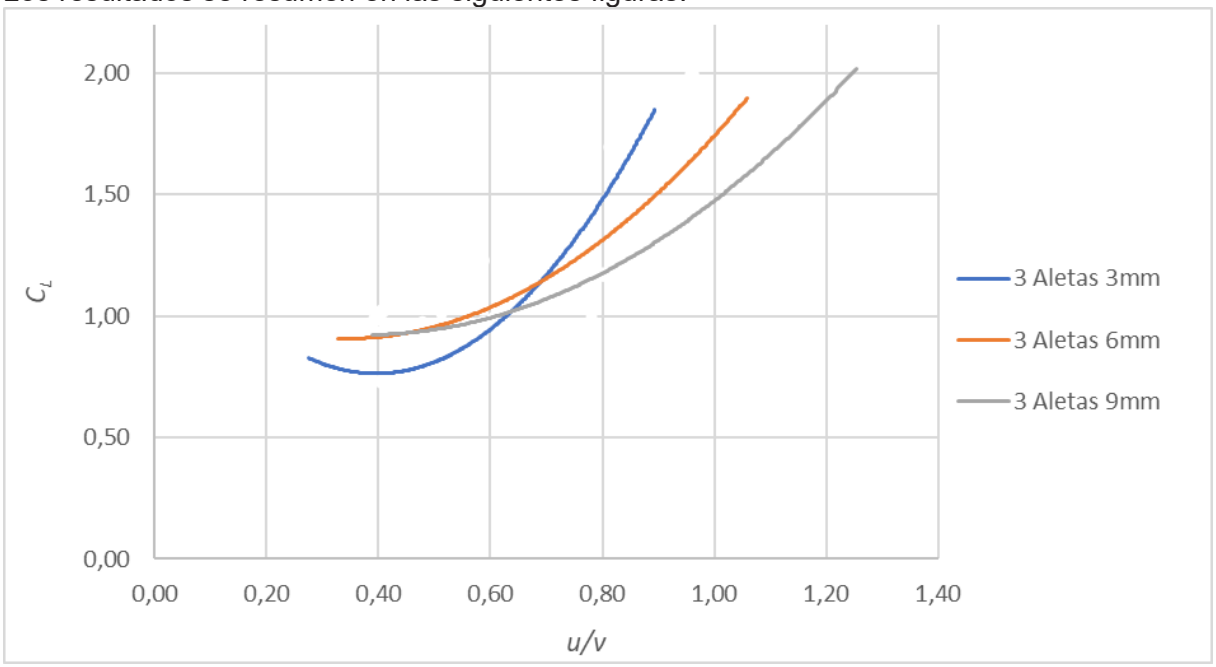


Figura 2 – Curvas de C_L versus u/v para cada cuerpo

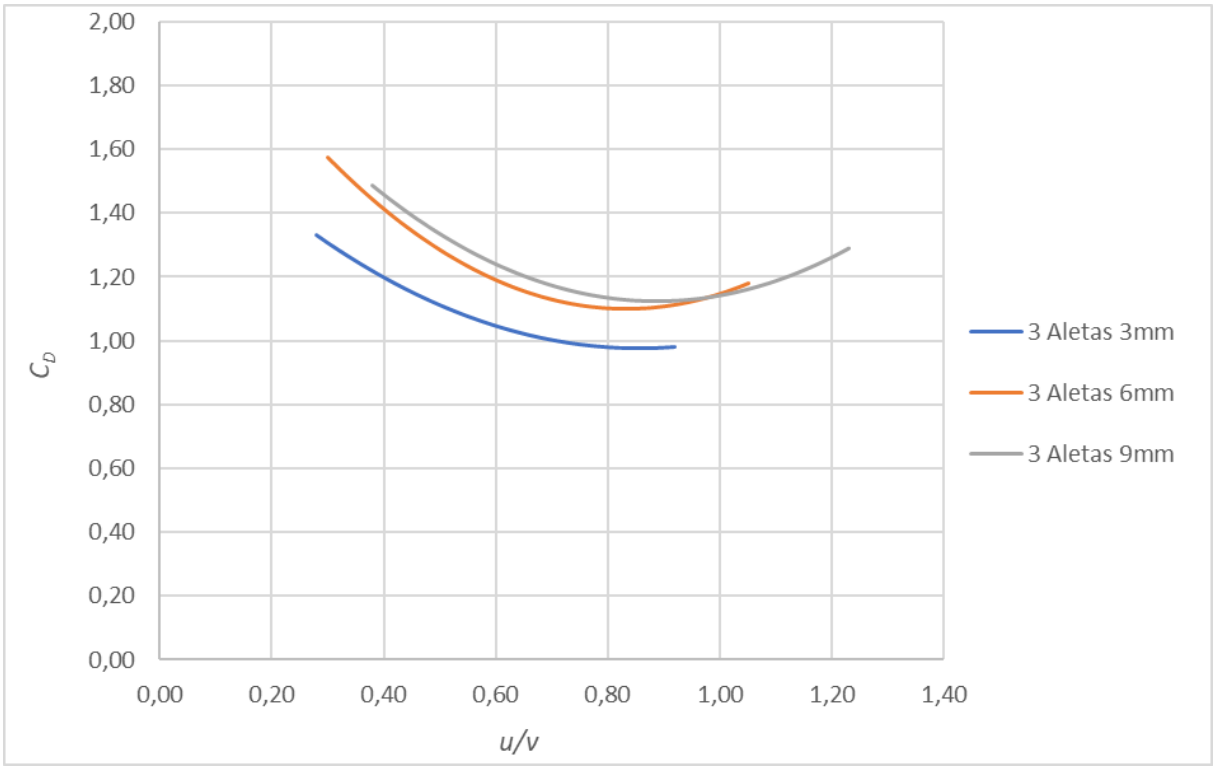


Figura 3 – Curvas de C_D versus u/v para cada cuerpo

Ensayos de visualizaciones

Los ensayos de visualización del flujo alrededor de los cuerpos se realizaron a una velocidad de la corriente libre de v=5 m/s y una velocidad de giro de los cuerpos de ω=1950 rpm. A continuación se muestran imágenes de los tres cuerpos ensayados en esas condiciones y se visualiza el flujo en sus entornos para la misma posición angular de cada cuerpo (conjunto de fotos en cada línea horizontal).

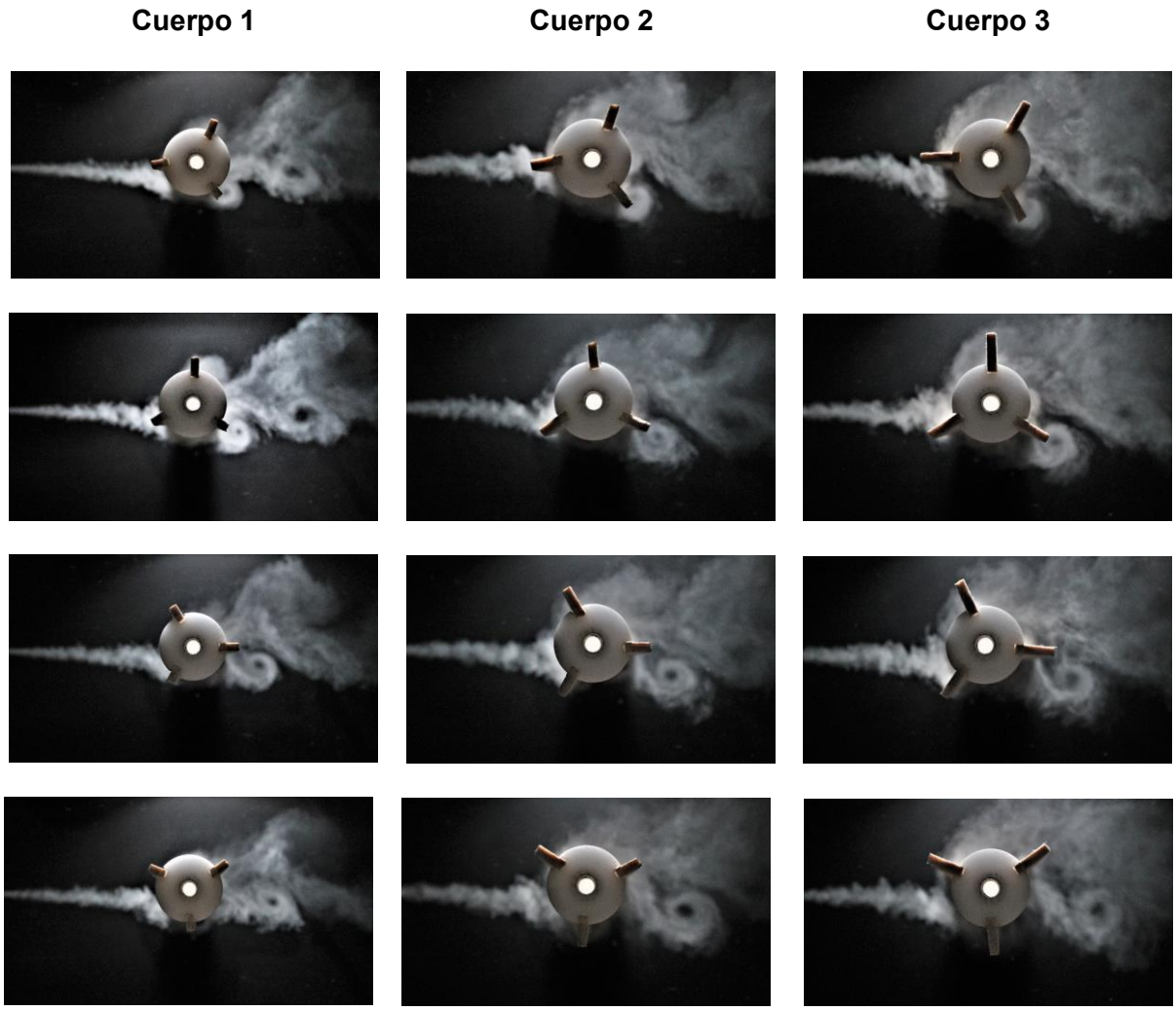


Figura 4 – Visualizaciones de flujo de los tres cuerpos para la condición de v= 5 m/s y ω=1950 rpm (sentido de giro contrario a las agujas del reloj)

CONCLUSIONES

En relación al coeficiente de sustentación se observó que al aumentar el tamaño de las aletas se obtuvo un valor similar de C_L para los 3 cuerpos, pero para mayor relación de velocidades u/v. Es decir, que para obtener un mismo valor de C_L se requirió mayor velocidad de rotación, cuando se aumentó el tamaño de las aletas respecto al cuerpo con aletas más pequeñas.

En cuanto al comportamiento de la resistencia aerodinámica se puede ver que para los cuerpos con aletas de 6 y 9 mm los valores son similares, mientras que el cuerpo con aletas de 3 mm presenta valores de C_D inferiores a estos.

La configuración del flujo alrededor de estos tres cuerpos es similar. El tamaño de los remolinos y su localización diferencian el patrón de flujo entre todos los cuerpos. Mientras más largas son las aletas, más grandes son los remolinos y más grande la estela, esto explica el aumento de la resistencia. En todos los casos estudiados, el remolino inferior está claramente definido y su tamaño aumenta con el tamaño de la aleta y con la relación de velocidades, lo que explica la ganancia de sustentación entre los cuerpos. Con el aumento de la relación de velocidades, la estela se desvía más hacia la parte superior, lo que evidencia el fenómeno de generación de sustentación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Seifert, J., “A review of the Magnus Effect in Aeronautics”. Progress in aerospace sciences, 55, p: 17 – 45. 2012.

[2] Betz, A., “The Magnus effect - the principle of the Flettner rotor”, Technical Memorandums National Advisory Committee for Aeronautics. No. 310. 1925.

[3] Miller, C. “Wind Tunnel Measurement of the Surface Pressure Distribution on a Spinning Magnus Rotor”. Journal of Aircraft. Vol. 16. No. 12, p: 815 – 822. 1979.

[4] Cuevas, J. C., Ocaña, O., Hurtado, A., & Hidalgo, S. "El efecto Magnus y La paradoja de D'Alembert: consideraciones del flujo Potencial." Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 4. No. 2, p: 394 - 398. 2010.

[5] Mittal, S., Kummar, B. “Flow Past a rotating cylinder”. Journal of Fluid Mechanics. Vol. 476, p: 303 – 334. 2002.

[6] Ericcson, L. E., Beyers M. E. “Flat Spin of a Circular Cylinder”. Journal of Aircraft. Vol. 33. No. 4, p: 722 - 729. 1996.

[7] Ericcson, L.E. “Circular Cylinder Response to Kármán Vortex Shedding”. Journal of Aircraft. Vol. 25. No. 9, p: 769 - 775. 1988.

[8] Polhamus, E., “Effect of flow incidence and Reynolds number on low-speed aerodynamic characteristics of several noncircular cylinders with applications to directional stability and spinning”. Technical Note National Advisory Committee for Aeronautics. No. 4176. 1958.

[9] Pamadi, B.N., Pordal, H.S. “Effect of Strakes on the Autorotational Characteristics of Noncircular Cylinders”. Journal of Aircraft. Vol. 22. No. 2, p: 84 – 97. 1987.

[10] Skews, B.W., “Autorotation of many-sided bodies in an airstream”. Letters to nature. Vol 352, p: 512 – 513. 1991.

[11] Ozgoren, M., “Flow structure in the downstream of square and circular cylinders”. Flow Measurement and Instrumentation 17, p: 225 - 235. 2006.

[12] Power, H., Iversen J. “Magnus Effect on Spinning Bodies of Revolution”. AIAA Journal. Vol. 11. No. 4, p: 417 – 418. 1973.

[13] Liang, L., Zhao, P., Zhang, S., Yuan, J., & Wen, Y. “Simulation and analysis of Magnus rotating roll stabilizer at low speed”. Ocean Engineering, 142, 491-500. 2017.

[14] Gupta, Y., Dumon, J., & Hably, A. “Modeling and control of a Magnus effect-based airborne wind energy system in crosswind maneuvers”. Elsevier. IFAC-Papers On Line, 50(1), 13878-13885. 2017.

[15] Bahill, A. T., Bladwin, D. G., Ramberg, J. S. “Effects of Altitude and Atmosferic Conditions on the flight of a Bsseball”. International Journal of Sports Science and Engineering. Vol. 3. No. 2, p: 109 – 128. World Academic Press, World Academic Union. 2009.

[16] Alaways, L., Hubbard, M. “Experimental determination of baseball spin and lift”. Journal of Sport Sciences. Vol. 19, p: 349 – 358. 2001.

[17] Barber, S., Chin S. B., Carré M. J. “Sports ball aerodynamics: A numerical study of the erratic motion of soccer balls”. Computers & Fluids. 38, p: 1091 – 1100. 2009.

[18] Tai, C., Chao, C., Leong, J., Hong, Q., “Effects of golf ball dimple configuration on aerodynamics, trajectory, and acoustics”. Journal of Flow Visualization and Image Processing. Vol. 14. 2007.

[19] Minami, S., Azuma, A. “Various flying modes of wind-dispersal seds”. Journal of Theoretical Biology. 225, p: 1 – 14. 2003.

[20] Nguyen, S. N., Greenhalgh E. S., Olsson R., Iannucci L. “Modeling the lofting of Runway Debris by Aircraft Tyres”. Journal of Aircraft. Vol. 45.No. 5, p: 1701 – 1714. 2008.

[21] Holmes, J.D. “Trajectories of spheres in strong winds with application to wind-borne debris”. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 92, p: 9 – 22. 2004.

[22] Lin, N., Letchford C., Holmes J.D. “Investigation of plate-type windborne debris. Part I: Experiments in wind tunnel and full scale”. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 94, p: 51 - 76. 2006.

[23] Baker, C. J. “The Debris Flight Equations”. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 95, p: 329 - 353. 2007.

[24] Skews, B. W., “Autorotation of Polygonal prisms with an upstream vane”. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. No. 73, p: 145 - 158. 1997.

[25] Tesis Doctoral “Estudio experimental del efecto Magnus en cuerpos cilíndricos de secciones transversales diversas”, Santiago PEZZOTTI, Facultad de Ingeniería, UNLP. (2016)

[26] Pezzotti, S., Mora, V. N., Andrés, A. S., & Franchini, S. “Experimental study of the Magnus effect in cylindrical bodies with 4, 6, 8 and 10 sides”. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 197, 104065. (2020)

EL IMPACTO DE LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EN EL ENTORNO AEROPORTUARIO

Malvé, Pablo A; Nadal Mora, Vicente; Di Bernardi, C. Alejandro

Grupo Transporte Aéreo – UIDET "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: pablomalve27@gmail.com

Palabras Claves: Meteorología - aeronáutica – fenómenos – aeropuertos – impactos

Introducción

Conceptos Fundamentales

La Meteorología Aeronáutica es la rama de la meteorología orientada específicamente a las actividades aéreas, teniendo en especial atención la seguridad operacional.

Esta actividad consiste en realizar mediciones y observaciones de los elementos que conforman la caracterización meteorológica en los diferentes aeropuertos, recolectar todos los datos de la red de estaciones y posteriormente enviarlas a los centros de pronósticos, en los cuales se complementan con información proveniente de radares meteorológicos e imágenes satelitales.

Con posterioridad toda esta información es analizada por los meteorólogos aeronáuticos realizando las previsiones meteorológicas específicas para las regiones de los aeródromos y rutas aéreas establecidas.

Dicha información es divulgada a los pilotos y personal responsable de la planificación de los vuelos, como así también a los diferentes usuarios que ejercen funciones operativas de gestión y de operación en los aeropuertos.

La información meteorológica en los procesos aeroportuarios

En la operación diaria de un aeropuerto se ejecutan un conjunto de procesos relacionados con el tratamiento de las aeronaves, de los pasajeros, de la carga, de los equipajes, entre los otros tantos que de manera natural se dan en la operación aeroportuaria.

Los llamados procesos aeroportuarios, cuya finalidad es conseguir que la ingente actividad que tiene lugar en un aeropuerto se desarrolle de manera eficiente, regular y segura, donde pasajeros y aerolíneas perciban calidad.

En los aeropuertos internacionales europeos, la "gestión de los procesos aeroportuarios" se realiza a través de los denominados "centros de gestión". En nuestra región, dependiendo de la cultura organizacional de los Estados, no se dispone de "sistemas de gestión integral" ya que algunos de estos procesos son realizados por jefaturas operativas denominadas "dependencias operativas ", las cuales dependen directamente del Jefe de Aeropuerto.

La información meteorológica en los procesos aeroportuarios

El tiempo meteorológico es uno de los factores que influyen significativamente la gestión de los procesos aeroportuarios, en particular en la programación diaria de movimientos, operación de aeronaves y las actividades operativas de los proveedores de servicios y las propias bajo responsabilidad de la Jefatura del aeropuerto.

En días con meteorología adversa las operaciones se trastocan de tal forma que pueden llegar a saturar el aeropuerto generando así innumerables situaciones que llevarán retrasos y penalizaciones operativas.

Es por ello que las organizaciones necesitan disponer de información meteorológica, específica y actualizada con regularidad, para poder planificar con eficiencia y seguridad el desarrollo de todos los procesos que tienen lugar en el aeropuerto.

¿Qué es el Tiempo Severo?

Se lo define como el "conjunto de fenómenos meteorológicos con el potencial de dañar la propiedad o vida humana". Su severidad varía dependiendo de la localización espacial, la topografía del lugar y las condiciones atmosféricas. Vientos intensos y ráfagas asociadas, granizo y abundante precipitación, son algunos de los efectos del tiempo severo que puede afectar al aeropuerto, y también puede aparecer situaciones como las siguientes:

- ✓ Tormentas severas,
- ✓ Actividad eléctrica localizada,
- ✓ Cortantes de Viento (Cizalladura),
- ✓ Engelamiento,
- ✓ Turbulencias,:
- ✓ Nieblas y Neblinas,
- ✓ Ondas de Montañas, y
- ✓ Cenizas Volcánicas.

Desarrollo y discusión

Partiendo entonces de la premisa que, "todas las actividades dentro del aeropuerto son vulnerables a las condiciones meteorológicas extremas", los eventos meteorológicos extremos traen aparejados problemas serios que generan actuaciones mediante procedimientos que permitan afrontar las "contingencias operacionales".

A grandes rasgos, estos eventos los podemos clasificar de acuerdo con su magnitud y su peligrosidad. Teniendo en cuenta, además de esta clasificación, las características de los mismos, son muy significativas para las operaciones aeroportuarias, ocasionando entre otras cosas demoras y complicaciones operacionales. Sus efectos y los riesgos que conllevan estos eventos deben ser evaluados con la máxima celeridad posible en términos de:

- ✓ Probabilidad
- ✓ Intensidad

Evidentemente todo ello, nos lleva a desarrollar el concepto del "impacto aeronáutico"

Impacto Meteorológico - Impacto Aeronáutico

Al impacto meteorológico lo definimos como "un fenómeno meteorológico potencialmente adverso para la aviación y a la actividad aeroportuaria"; mientras que el impacto aeronáutico es el efecto del impacto meteorológico, que genera una situación de modificaciones, cambios temporales y de alteración disruptiva en los entornos de gestión y operacionales aeroportuarias.

Sus consecuencias no sólo se traducen en situaciones en la GSO (Gestión de la Seguridad Operacional) y en el SMS (Safety Management System), sino también en la generación de una alteración del entorno económico, de infraestructura, de la actuación social

y en el desarrollo normal de las actividades aeroportuarias, por la acción directa o indirecta de uno a varios fenómenos meteorológicos presentes.

Podemos citar a modo de ejemplo, que esta relación Impacto meteorológico - impacto aeronáutico generan derivaciones que producen retrasos, demoras en cargas de combustibles y servicios de rampas, operaciones frustradas de aeronaves en aterrizajes y/o despegues, aumento de gasto de combustibles de las aeronaves, congestión aeroportuaria, aumento del estrés operacional del personal aeroportuario en todas sus áreas de actuación entre otras igualmente importantes, tanto en el lado aire como en el lado tierra del sistema aeroportuario.

Surge la pregunta: ¿es posible a través de un modelo relacionar el impacto aeronáutico, con los fenómenos meteorológicos severos como precursores del impacto aeronáutico y las herramientas existentes para su detección / diagnóstico y posterior pronóstico del mismo?

La respuesta es sí, porque el desarrollo tecnológico actual nos permitiría optimizar en tiempo real las operaciones aeroportuarias de todos los actores intervinientes: jefaturas aeroportuarias, concesionarios aeroportuarios, empresas aéreas, proveedores de servicios ANS (Servicios de Navegación Aérea), de rampa, de plataforma, operadores aéreos, seguridad, entre otros.

Para entender estos conceptos vertidos y sus relaciones conceptuales vinculados con fenómenos meteorológicos severos y el impacto aeronáutico producido, los asociamos en la siguiente tabla que representa el impacto aeronáutico con sus correspondientes impactos y los fenómenos meteorológicos que son precursores de éstos.

Es menester señalar que, a los fines específicos de este trabajo de estudio, solamente se establecen aquellos fenómenos meteorológicos cuyo impacto aeronáutico tiene una incidencia directa en los aeropuertos y en su gestión operativa.

FENOMENO METEOROLOGICO	IMPACTO METEOROLOGICO	IMPACTO AERONÁUTICO
➢ Nieblas ➢ Neblinas ➢ Lluvia ➢ Llovizna ➢ Nieve ➢ Bruma ➢ Humo ➢ Ventisca ➢ Tempestad de polvo o arena.	Visibilidad	✓ Visibilidad Reducida ✓ Cierre Operativo del Aeropuerto ✓ Incremento de consumo de combustible por desvíos de aeronaves. ✓ Implementación de los procedimientos LVP (Low Visibility Procedure)
➢ Sistema Mesoescala ➢ Frentes ➢ Líneas de Inestabilidad	Tormentas	✓ Visibilidad reducida ✓ Precipitaciones fuertes ✓ Actividad eléctrica intensa ✓ Granizo ✓ Cierre operativo del aeropuerto ✓ Incremento de consumo de combustible por desvíos aeronaves
➢ Frente Frio ➢ Línea de Inestabilidad ➢ Micro ráfagas	Cortantes de Viento	✓ Disminución de la capacidad operativa del aeropuerto. ✓ Reorganización del tráfico aéreo

FENOMENO METEOROLOGICO	IMPACTO METEOROLOGICO	IMPACTO AERONÁUTICO
		✓ Vuelos demorados y reprogramados
➢ Frentes ➢ Líneas de Inestabilidad ➢ Sistema de Mesoescala	Vientos fuertes	✓ Visibilidad reducida ✓ Daños de importancia en infraestructura del aeropuerto y aeronaves estacionadas ✓ Cierre operativo del aeropuerto ✓ Incremento de consumo de combustible por desvíos aeronaves
➢ Erupciones Volcánicas	Cenizas Volcánicas	✓ Visibilidad Reducida ✓ Afectación de los motores de las aeronaves ✓ Cierre operativo del Aeropuerto

La interpretación de la tabla precedentes, nos da una idea exacta a través de las siguientes preguntas, por ejemplo, para el caso del Fenómeno Meteorológico Niebla – Neblinas:

(1) ¿De qué manera la atmósfera puede crear un entorno favorable a la formación de niebla / neblinas?

Como se sabe, estas se forman cuando la temperatura y el punto de rocío se acercan estrechamente. En noches claras y frescas, la Tierra disipará su calor, haciendo que la superficie terrestre llegue a ser relativamente fría. El aire, en contacto con la Tierra, se enfriará en los niveles más bajos haciendo que la humedad se condense en forma de niebla. La niebla se forma rápidamente y puede ser disipada por el viento (mezclando el aire con zonas de temperaturas más altas, absorbiendo así la humedad) o por el agregado de calor, inmediatamente luego de la elevación del Sol.

(2) ¿Cómo se ven afectadas las actividades operativas aeroportuarias?

La niebla / neblina podrían provocar una reorganización del tráfico aéreo, estrés en los profesionales (controladores, tripulación, otros), desvíos, pérdidas económicas, aumento del gasto de combustible, y la seguridad operacional podría verse comprometida, ya que el impacto meteorológico es la “reducción de la visibilidad”

(3) ¿Qué herramientas existen a nuestro alcance para diagnosticar/pronosticar un entorno favorable a la niebla / neblina?

En primer lugar, la existencia de niebla / neblina se determina a través de instrumentos y equipos de medición de la visibilidad y el alcance visual en pista (RVR: Runway Visual Range) en todas las pistas operativas en situaciones de visibilidad reducida. Conformados por los sensores: transmisómetros, escaterómetros y Luminancímetros.

En segundo lugar, para predecir la ocurrencia de nieblas / neblinas existen diferentes metodologías de modelado, que pueden ser aplicadas para desarrollar un pronóstico de nieblas / neblinas, que pueden ser:

(a) modelado numérico explícito de la niebla
(b) modelos dinámico-estadísticos basados en el post procesamiento de las salidas de modelos

(c) modelos numéricos y su combinación con observaciones y los modelos estadísticos, basados solamente en las observaciones

Asimismo, los pronosticadores aeronáuticos utilizan como herramienta los estudios climatológicos de ocurrencia de nieblas en un aeropuerto determinado.

(4) ¿Qué procedimientos se establecen cuando en un aeropuerto se encuentra presente este fenómeno meteorológico?

Existen procedimientos que suministran una guía y control a las aeronaves, vehículos, personal operativo que se encuentra con actividad en las áreas de maniobras del aeropuerto en condiciones de visibilidad reducida, con la finalidad de incrementar la seguridad de las operaciones aéreas, cuyo alcance abarca a los servicios de:

(a) Tránsito Aéreo,
(b) Operaciones
(c) CNS (Servicio de Comunicaciones, Navegación Aérea y Vigilancia)
(d) Meteorología
(e) AIS (Aeronautical Information Service)
(f) SEI (Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios)
(g) Concesionario del Aeropuerto y
(h) Compañías Aéreas.

Este procedimiento recibe el nombre de LVP, que son las iniciales del procedimiento de baja visibilidad, un protocolo de actuación en el área de maniobras del aeropuerto que extrema las precauciones en caso de que la visibilidad se reduzca por debajo de unos valores establecidos para cada aeropuerto en particular.

Conclusiones

Claramente el impacto meteorológico tiene su correlato directo con el impacto aeronáutico cuyas consecuencias se traducen en potenciales afectaciones sobre la gestión de la seguridad operacional y en la generación de alteraciones en los entornos económicos, sociales, técnicos, ambientales y operacionales de la infraestructura aeroportuaria.

Esta relación entre los conceptos genera interrelaciones asociadas, en donde la identificación del peligro potencial presente conjugado con la incertidumbre propia de la toma de decisiones se transforma en vulnerabilidades del sistema.

En este contexto, atendiendo que se busca lograr una interrelación eficiente, y operativamente confiable, resulta necesario que todos los actores y los servicios intervinientes realicen con frecuencia simulacros de situaciones adversas con la intervención de todas las partes afectadas a través de modelaciones y de acciones sistémicas, permitiendo con ello:

(a) mejoras en los procedimientos operativos,
(b) reducción de los tiempos de repuestas,
(c) activación de las alarmas en forma instantánea,
(d) facilitación de la trasversalidad de todos los actores intervinientes, y
(e) optimización de los niveles de seguridad operacional.

De esta mamera se dispondrá de un sistema de alertas específicas que contemplen cada fenómeno meteorológico particular definiendo, para cada caso, una adecuada capacidad de respuesta rápida, confiable y eficiente como estrategia operacional acertada.

Bibliografía

[1] Anexo 3 “Servicios Meteorológicos para la Navegación Aérea Internacional” OACI
20a. edición, Julio de 2018
[2] Anexo 11 “Servicios de Tránsito Aéreo” OACI
15a. edición, Julio de 2018
[3] Anexo 19 “Gestión de la Seguridad Operacional” OACI
2a. edición 7 de noviembre de 2019
[4] Doc 9377 – Manual sobre coordinación entre los servicios de tránsito aéreo, los servicios de información aeronáutica y los servicios de meteorología aeronáutica.
6a. edición, 2014.
[5] Doc 9750 – GANP. OACI
6a. edición, 2020
[6] Doc. 9854 – Conceptual Operacional ATM. OACI
1a. edición, 2005
[7] Doc 10003 – Manual sobre intercambio digital de información meteorológica aeronáutica.
2a. edición, 2019
[8] Doc 10045 – Reporte de la Reunión Departamental MET.
julio de 2014
[9] Informes del GREPECAS/18. Año 2018
[10] Documentación obtenida de la Federal Aviation Administration (FAA):
https://www.faa.gov/nextgen/programs/weather/faq/ l
[11] Ponencia: “Impacto en la gestión del tráfico aéreo”. Nacho Pérez (Vocalía Técnica de APROCTA). Jornadas COPAC- AEMET de Turbulencia y cizalladura orientada a usuarios aeronáuticos. Año 2017
[12] Ponencia del Centro de Gestión de Red (CGRH24). Jornadas Invernales AENA 2017. 13ª Jornada sobre el Plan Operacional de invierno de AENA. Año 2017

LA AUTOMATIZACIÓN DE LA METEOROLOGIA AERONÁUTICA EN LA GESTION DEL TRANSITO AEREO Y AEROPORTUARIO

Malvé, Pablo A: Nadal Mora, Vicente; Pezzotti, Santiago; Di Bernardi, C. Alejandro

Grupo Transporte Aéreo – UIDET "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: pablomalve27@gmail.com

Palabras Claves: Meteorología - tránsito aéreo – aeropuertos – automatización – innovación.

Introducción

La industria aeronáutica venia experimentando un crecimiento exponencial en muchos aspectos conllevando innovaciones tecnológicas, y en el desarrollo y gestión de las infraestructuras aeroportuarias ante el incremento notable del tráfico aéreo. Sin embargo, a fines del año 2019, este escenario por demás venturoso sufrió uno de los impactos más importante en su historia llegando a la frontera de una crisis sin precedentes.

El advenimiento del COVID 19 y su posterior transformación en pandemia impactó y sigue impactando negativamente en todo el mundo y la industria aeronáutica no escapa a esta dura realidad más allá de que se vislumbra una recuperación en forma lenta y muy lejos de las proyecciones pensadas en el 2020.

Si tomamos al año 2019 como una bisagra, podemos ver que con anterioridad había una necesidad de readaptar los procedimientos y la tecnología en el ámbito aeronáutico reforzado por la estimación del incremento notable que iba a tener el tráfico aéreo en los próximos años.

Con posterioridad al 2019, se evidencia que la reorganización de la industria estará sujeta a modelos de reingenierías y procesos sistémicos adaptables y flexibles para hacer frente a esta "nueva realidad" en ciernes que nos obliga a re pensar el sistema aéreo en su conjunto. Entonces, aquello que se había pensado como la evolución misma y natural del desarrollo sostenido que se venía experimentando, seguramente sufrirá algunas modificaciones adaptándose a las nuevas necesidades post COVID 19 o post pandemia.

Este trabajo presenta una perspectiva de los cambios requeridos en meteorología aeronáutica para hacer frente a este nuevo contexto de la industria, de la gestión del tráfico aéreo y en particular de la gestión aeroportuaria.

Indudablemente, la mejora del acceso a la información de meteorología aeronáutica, accesos a nuevas tecnologías y capacidades de las herramientas de predicción van a exigir tener un papel relevante en la toma de decisiones operativas por parte de los actores implicados.

Desarrollo y discusión

De aquella evolución señalada precedentemente, citaremos solo algunos de los nuevos conceptos que se desarrollaron con la intención de optimizar la gestión del tránsito aéreo:

(1) Aumento de la capacidad del aeropuerto con llegadas basadas en tiempo TBS (Time Based Separation).

La separación basada en TBS nos permite modificar las separaciones entre aviones que se adaptan a las condiciones meteorológicas reinantes, con la particularidad de mantener constante un intervalo temporal, lográndose con ello la optimización de las capacidades operativas del aeropuerto.

Para ello, el personal que cumple funciones como de controladores de aproximación utiliza un software que le permite tener información en tiempo real de las condiciones meteorológicas, con especial atención la variable de velocidad del viento.

(2) Utilización de la información emitida por los aviones y vehículos en tierra mediante el sistema ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast).

Este sistema, en Europa, ha permitido llegar a triplicar la capacidad y aumentar la seguridad en un factor de 10 utilizando la información emitida por los aviones y vehículos en tierra mediante ADS-B, contando, además, con la activación de avisos cuando los datos meteorológicos dan información de tiempo adverso. La información se proporciona sistemáticamente a los controladores en situaciones de baja visibilidad, demostrándose sustanciales mejorías en los tiempos operativos de la gestión de los movimientos en tierra en esas condiciones meteorológicas.

(3) Servicios de torres de control a distancia para aeropuertos pequeños

Esto supone una importante reducción de costos operativos para este tipo de aeropuertos, lo cual se traduce en una solución factible.

Para brindar el servicio de torres de control a distancia para aeropuertos pequeños se requiere de un sistema de sensores y cámaras de videos que permitan al personal de controladores realizar su actividad operativa en forma remota, monitorizando en cada momento la situación del o los aeropuertos que se estén controlando bajo esta modalidad.

Nuevos desafíos y análisis de las nuevas capacidades de los servicios de información meteorológica aeronáutica

Si tomamos estos tres casos que materializan una nueva mirada más eficiente para gestionar este tráfico aéreo, evidentemente nos obliga a pensar que los servicios meteorológicos aeronáuticos deberán generar nuevas capacidades para el suministro de la información meteorológica aeronáutica para los proveedores de servicios ANS (Servicios de Navegación Aérea), concesionarios aeroportuarios, líneas aéreas y servicios complementarios.

Estas nuevas capacidades estarán relacionadas con nuevos productos de información meteorológica, no sólo para los servicios de navegación aérea, sino también para el personal operativo de las empresas aéreas comerciales, de plataformas, aeroportuarios y concesionarios de los aeropuertos.

Así del mismo modo, surgirán nuevas capacidades con el advenimiento de, no sólo nuevas tecnologías, sino también de nuevos requerimientos y servicios.

Tal es el caso de los RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems), donde su evolución transformada en UAM (Urban Air Mobility) o los AAM (Advanced Air Mobility) está generando nuevos usos aeronáuticos, los cuales van a exigir servicios de información meteorológica aeronáutica específicos.

Estos desafíos nos llevan a pensar que los servicios de información meteorológica aeronáutica deberán gestionarse a través de un nuevo concepto sistémico en el cual, no sólo

la información meteorológica esté disponible, sino también definir qué tipo de información se debe considerar prioritaria para asegurar nuestras operaciones en función de los fenómenos meteorológicos severos que nos están afectando.

Por otra parte, se deberán rediseñar los tipos y formatos de mensajes meteorológicos, que garanticen mejorar la planificación y la gestión operativa aeroportuaria y aeronáutica.

En ese sentido, en Europa se está desarrollando una aplicación para obtener de manera integrada toda la información meteorológica proporcionada por los servicios meteorológicos de los países, como parte de la información aeronáutica que se suministra.

Esta aplicación es el cubo meteorológico de cuatro dimensiones (4DWxCube).

Básicamente, esta aplicación, es una base de datos virtual de información meteorológica proporcionada por los diferentes servicios meteorológicos, la cual se encuentra disponible en todo momento. Esto permite que toda la información se encuentre integrada en el proceso de gestión y decisión dentro de los servicios de tránsito aéreo, permitiendo a los diferentes aeropuertos y a los proveedores del servicio de navegación aérea conocer la última situación meteorológica y planificar en consecuencia sus servicios de navegación aérea con eficiencia.

Realidad y Desafíos en la Región SAM de OACI (Región Sudamericana – OACI).

Como ya se ha señalado, la reorganización de la industria estará sujeta a modelos de reingenierías y procesos sistémicos adaptables y flexibles para hacer frente a esta “nueva realidad” en ciernes y particularmente nuestra región no escapará a esta conceptualización. Sin embargo, la realidad que impone la región SAM de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), vislumbra que esta conceptualización llevará un tiempo dado los diferentes matices de los Estados que la componen, sus necesidades, sociales, económicas y políticas.

Si bien ya se está trabajando y se han implementado sistemas que han permitido mejorar sustancialmente el tránsito aéreo, se hace necesaria una evaluación más sustancial, sistémica y de planificación a largo plazo para ingresar al tiempo de post pandemia.

Así mismo se deberá tener en cuenta, que la post pandemia seguramente produzca cambios culturales en las organizaciones, autoridades aeronáuticas, empresas aéreas, proveedores de servicios, concesionarios aeroportuarios, entre otros aspectos que resultan relevantes en el enfoque sistémico que naturalmente se debe dar.

La realidad está demostrando una reducción muy significativa de puestos de trabajos, reducciones de plantilla de personal y actividades que no se realizarán como veníamos acostumbrados con anterioridad al año 2019.

Y en ese sentido debemos señalar además que la inactividad del 2020 ha generado pérdidas de capacidades operativas por parte del personal operativo en los aeropuertos, principalmente, lo cual nos lleva a pensar que se deberá realizar una readaptación a las actividades operativas y, obviamente, aquí habrá una intervención muy importante de la Gestión de la Seguridad Operacional. También hay que señalar que se incorpora un nuevo actor en el sistema aeronáutico: “la autoridad sanitaria”, que probablemente incorpore a las normativas y regulaciones existentes, los protocolos de seguridad sanitaria o de bioseguridad.

Con lo cual, también será un factor predominante en materia de actuación del personal operativo.

Obviamente la meteorología no escapa a todo y cada uno de dichos preceptos, por lo cual la meteorología aeronáutica deberá considerar la incorporación del desarrollo tecnológico y la automatización de procesos sistémicos a los efectos de brindar un servicio adecuado de información meteorológica aeronáutica para nuevas necesidades, nuevos requerimientos y usuarios.

Por ello, y teniendo en cuenta los desarrollos europeos señalados con anterioridad, se considera necesario empezar a trabajar en la conceptualización de la automatización de los servicios de información de meteorología aeronáutica.

Si lo analizamos desde una mirada de reingeniería y de aplicación de procesos sistémicos, se vislumbra que se debería integrar lo existente con nuevos procesos, nuevas tecnologías y nuevos requerimientos, sin perder de vista la realidad particular de la región SAM.

Aquí vemos algunos ejemplos:

SWIM (System Wide Information Management)

Con la implementación de la intranet en la aviación, que envuelve a todas las áreas de navegación aérea, este sistema implementa el intercambio permanente de la información meteorológica en formato aeronáutico entre todos los usuarios aeronáuticos.

El SWIM, forma parte integral del GANP (Plan Global de Navegación Aérea), establecido en el Documento N° 9750 de OACI. Por lo cual, se hace necesario indagar en toda la documentación de OACI compuestos por Anexos al convenio de Chicago y diferentes documentos, la aplicación del SWIM a los efectos de garantizar los distintos aspectos de caracterización de la información, calidad de los datos y disponibilidad en tiempo real de los mismos.

AMDAR (Aircraft Meteorological DAta Relay)

Este sistema permite la recopilación de datos meteorológicos obtenidos por aeronaves comerciales en vuelo que son trasmitidos en forma automática y en tiempo real. Estos reportes automáticos se realizan a través de sensores instalados a bordo de las aeronaves, siendo procesados por computadoras de vuelo y enviados de manera inmediata vía radio HF, VHF y/o satélite Sistemas ACARS (Aircraft Communication Addressing and Reporting System).

Lo anterior tiene como usuario a los servicios meteorológicos de los países que son miembros de la OMM (Organización Mundial de Meteorología), cuya información es utilizada para la elaboración de pronósticos aeronáuticos, con la finalidad de predecir los fenómenos meteorológicos severos que afectan a la navegación aérea. La información recopilada tiene la misma precisión que los datos de radio sondeo, con una importante ventaja que es su costo, además de ello, proporcionan la única información disponible sobre la estructura vertical de la atmósfera. Siendo, además, una componente vital de la red de observación global sobre áreas oceánicas.

Actualmente este sistema está siendo utilizado por 15 líneas aéreas en el mundo con resultados satisfactorios, sin embargo, la pandemia ha generado una disminución sustancial de la recopilación de datos, con el consiguiente perjuicio a la hora de elaborar pronósticos aeronáuticos sobre base a datos estadísticos robustos.

Desafíos

Detección y predicción de los fenómenos meteorológicos severos

Una de las mayores preocupaciones que existen a nivel región SAM particularmente, es la falta de productos de pronósticos meteorológicos en el entorno de las áreas terminales, controladas por los centros de control de área.

Específicamente, nos estamos refiriendo a la detección y predicción de los fenómenos meteorológicos severos codificados en los SIGMET (Significant Meteorological Information) y los AIRMET (Airmen's Meteorological Information)

Evidentemente es un punto que deberemos trabajar, porque lo normado por la OACI hasta el momento, no está satisfaciendo las necesidades operativas en tiempo real de información meteorológica de fenómenos meteorológicos severos por parte de los centros de control de área.

Codificación de mensajes meteorológicos aeronáuticos

En la actualidad, producto varios factores, entre ellos, el cambio generacional del personal operativo, no sólo en los proveedores de los servicios ANS, sino también en las líneas aéreas y usuarios, están generando una no correcta comprensión de estos mensajes codificados, que en muchos casos se ha convertido en situaciones conflictivas de interpretación y uso.

Esto genera un mayor esfuerzo al momento de la comprensión por parte de algunos usuarios no habituados del todo a traducir a lenguaje natural los mensajes de información meteorológica aeronáutica. En este sentido, el desarrollo tecnológico actual nos permite pensar en soluciones prácticas, a la luz de contar con sistemas de gráfico de información, los cuales permitirían suplir el sistema actual de codificación de los mensajes.

Irrupción de los RPAS, UAM,o AAM

Como ya se mencionó uno de los retos a los que se está enfrentando la gestión del espacio aéreo es la presencia tan reciente y creciente de vehículos automatizados entre los que se encuentran los RPAS, con un futuro cercano de los UAM y AAM entre otras innovaciones en desarrollo actual.

En relación con la meteorología, este nuevo tipo de aeronaves exige considerar si se está prestando un servicio adecuado a sus necesidades y a los requerimientos de los distintos usuarios. Y la repuesta obviamente a primera vista es que no, no se cuenta con información meteorológica aeronáutica apropiada.

Esta tecnología ha tenido un desarrollo y una evolución exponencial en los últimos años, a tal modo que sus aplicaciones se van intensificando aún más en actividades totalmente diferentes. Y en el campo aeronáutico específicamente podemos citar las siguientes aplicaciones:

Servicios aeroportuarios

Con disponibilidad de este sistema se van a suplir en un futuro no muy lejano actividades aeroportuarias que al momento se realizan por modos aéreos y terrestres, y obviamente esto redundará económicamente en un beneficio, y por otro lado se obtendrán mejoras sustanciales en los procesos.

Dichas actividades podrían ser:

(1) observación del terreno (modelado eTOD con LIDAR)

(2) inspección de la pavimentos y zonas asociadas
(3) inspección de vehículos en rampa
(4) seguridad perimetral y control de fauna
(5) inspección de infraestructuras, instalaciones e equipamientos.
(6) inspección y calibración de radioayudas
(7) Inspección y calibración de ayudas visuales

Servicios de Información Meteorológica Aeronáutica

En Europa algunos servicios meteorológicos se encuentran en la etapa de análisis de factibilidad de la utilización de esta tecnología como plataformas operativas para la medición, recopilación y transmisión de las variables meteorológicas obtenidas en las trayectorias de vuelo programadas o planificadas a las OVM (Oficinas de Vigilancia Meteorológica) en apoyo a la elaboración de los diferentes tipos de pronósticos aeronáuticos.

Del mismo modo, también es factible pensar su utilización para la medición de viento en altura en la vertical de los aeropuertos o realizar sondeos meteorológicos que posibiliten tener mayor información de viento en altura, no sólo en la zona de responsabilidad de aeropuerto, sino también en áreas más extendidas, que involucren uno o más aeropuertos o rutas aéreas. También cabe mencionar su utilización como vector de comunicación en tiempo real de la información meteorológica básica y elaborada a distintos usuarios del sistema, asociada a otra información de los servicios ANS conformados por: AIP (Aeronautical Information Publication), NOTAM Notice To Airmen), Obstáculos, METAR (METeorological Aerodrome Report), TAF (Terminal Aerodrome Forescast), SIGMET (Significant Meteorological Information), WAFS (World Area Forecast System), entre otros.

Conclusiones

La era de los desarrollos tecnológicos, de la innovación en los procedimientos de navegación y en los procesos comunicación como así también la existencia de los RAPS son ya una realidad en muchas partes del mundo, mientras que los UAM y AAM son una parte de lo que vendrá. En este contexto en un tiempo próximo se deberá trabajar intensamente en la normalización y regulación de manera mancomunada entre las autoridades de aviación de los estados que convergen en cada una de las regiones OACI en particular la que nos compete de manera directa, la región SAM; ya que es evidente que su desarrollo facilitará y optimizará la eficiencia de los servicios de la gestión del tránsito aéreo.

En este contexto, se considera conveniente prestar mayor atención a la meteorología aeronáutica en el uso y en la aplicación de estos desarrollos tecnológicos que permitirán mayor calidad, eficiencia y seguridad; quedando como reto afrontar el requerimiento de tener nuevos productos meteorológicos más adecuados a las necesidades de los usuarios aeronáuticos

En concordancia con ello, se considera necesario generar conciencia sobre la importancia de la automatización de los servicios de información meteorológica aeronáutica por lo cual se hace conveniente y pertinente que esto sea tenido en cuenta en la planificación de las agendas de reuniones integradas por las organizaciones internacionales, los estados de la Región SAM, el ámbito académico universitario y las partes interesadas de la industria a los fines del intercambio en las mejores prácticas, lecciones aprendidas, material de investigación y desafíos relacionados la temática abordada en el presente trabajo.

Bibliografía

[1] Anexo 3 “Servicios Meteorológicos para la Navegación Aérea Internacional” OACI, 20a. edición, Julio de 2018

[2] Anexo 11 “Servicios de Tránsito Aéreo” OACI
15a. edición, Julio de 2018
[3] Anexo 15 “Servicio de Información Aeronáutica” OACI
16a. edición, Julio de 2018.
[4] Doc. 8126 - Manual de los Servicios de Información Aeronáutica
6a. edición, 2003.
[5] Doc 9377 – Manual sobre coordinación entre los servicios de tránsito aéreo, los servicios de información aeronáutica y los servicios de meteorología aeronáutica.
6a. edición, 2014.
[6] Doc 9750 – GANP. OACI
6a. edición, 2020
[7] Doc. 9854 – Concepto operacional de gestión del tránsito aéreo mundial. OACI
1a. edición, 2005
[8] Doc 10003 – Manual sobre intercambio digital de información meteorológica aeronáutica.
2a. edición, 2019
[9] Referencias obtenida de la web https://elsecretodelospajaros.net
[10] Referencias obtenida de la web https://www.usca.es.
[11] Documento “SESAR Solutions Catalogue”, de SESAR Joint Undertaking, Año 2016.
[12] Reglamento (CE) N° 549 Año 2004
[13] Reglamento (CE) N° 219 Año 2007
[14] Referencia obtenida de la web NATS (proveedor de servicio de navegación aérea en Gran Bretaña): https://www.nats.aero/
[15] Referencia obtenida de la web EUMETNET: http://eumetnet.eu/activities/observations-programme/current-activities/ e-amdar/

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EN MATLAB PARA SIMULAR OPERACIONES DE GSE EN PLATAFORMA Y CUANTIFICAR SUS EMISIONES

Mercedes, Richard[1]; Sznajderman Lucas[1,2]; Di Bernardi C. Alejandro.[1]

[1]Grupo Transporte Aéreo – UIDET "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Pcia. Buenos Aires, Argentina. Dirección postal 1900. Correo electrónico: leo_0908_3@hotmail.com
[2]Comisión de Investigaciones Científicas - CIC, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, Pcia. Buenos Aires, Argentina

Palabras claves: plataforma, GSE, modelo, emisiones gaseosas,

Introducción

Las infraestructuras aeroportuarias, a la vez de ser centros fundamentales de desarrollo local y regional, son también elementos que interactúan con el medioambiente en el que se constituyen. La necesidad de hacer compatible el desarrollo del transporte aéreo con la conservación de los valores naturales y de la calidad de vida en el entorno aeroportuario, precisa de estudios y modelos de actuación basados en el equilibrio entre los factores económicos, sociales y ambientales, que permita el acercamiento a un modelo sostenible de desarrollo.

Por su parte, la OACI reconoce que las fuentes de emisiones relacionadas con los aeropuertos tienen la capacidad de emitir contaminantes que pueden contribuir al deterioro de la calidad del aire en las comunidades cercanas. Por ello, los programas y normas nacionales e internacionales sobre calidad del aire requieren continuamente que las autoridades aeroportuarias y los órganos gubernamentales traten los aspectos de calidad del aire en las cercanías de los aeropuertos.

En un análisis de calidad del aire local, es necesario un cálculo de dispersión en el cual se modeliza la mezcla atmosférica de estas sustancias o contaminantes traza emitidos de las fuentes locales, y sobre la base de principios científicos, se predicen las resultantes distribuciones de concentraciones (por lo general cerca de la superficie). Los resultados, o concentraciones atmosféricas previstas, constituyen la base de los estudios de consecuencias sobre la calidad del aire local (LAQ).

Se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humanos. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo. Según una evaluación de la OMS de la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles sólidos) [1].

Uno de los objetivos de la OACI respecto al medio ambiente es el de limitar o reducir las repercusiones de las emisiones de la aviación en la calidad del aire local, cuantificando y analizando las distintas fuentes de emisiones aeroportuarias. Los dos principales sectores de una evaluación de la calidad del aire son: a) los inventarios de emisiones; y b) la modelización de la dispersión de concentraciones de contaminantes.

En los aeropuertos, además de registrarse las emisiones procedentes de las aeronaves, se determinan como principales fuentes de emisión las procedentes de los vehículos de transporte en accesos y estacionamientos del aeropuerto, las procedentes de

fuentes estacionarias (caldera y depósitos de combustible), y aquellas procedentes de vehículos de apoyo en tierra o GSE [2].

Particularmente, los GSE engloban entre sus operaciones al transporte de pasajeros desde las terminales a las aeronaves y viceversa, los procesos de carga y descarga de mercancías y equipajes, el suministro de energía y combustible a la aeronave, transporte de tripulaciones, así como todas las maniobras que deben realizarse para situar al avión en posición para efectuar el despegue o el inicio de la rodadura según el caso. En resumen, incluyen todos los equipos de servicio en tierra y los vehículos normalmente asociados con los movimientos de la aeronave en la plataforma [3]. Cada uno de estos vehículos poseen distintos tiempos de operación, debido a su función, y no todos los procesos pueden realizarse simultáneamente. Los servicios se aplican en el turnaround, definido como "el período de tiempo en el cual la aeronave está en la plataforma, desde que frena en el puesto de estacionamiento en el arribo, hasta que deja el puesto para el despegue incluyendo el posicionamiento del tractor de remolque". El tipo de GSE varía según la aplicación en función de su operación y deben tenerse en cuenta los servicios requeridos además según el puesto de estacionamiento[4].

El inventario de emisiones proporciona la masa total de las emisiones liberadas al medio ambiente y constituye la base para la notificación, el cumplimiento y la planificación de la mitigación, pudiéndose utilizar también como insumo para moderar las concentraciones de contaminantes proporcionando información sobre las condiciones generales, así como las contribuciones de fuentes específicas.

El presente estudio tiene como objetivo describir el modelo para lograr la cuantificación de las emisiones gaseosas generadas por los GSE.

Desarrollo y discusión

El estudio presenta el proceso lógico para inventariar y cuantificar las emisiones generadas por los vehículos de asistencia durante las distintas etapas en el servicio a la aeronave y la circulación. Brindando a su vez la posibilidad de visualizar la concentración de las emisiones según distintas variables que se requieran, por ejemplo: emisiones por puesto, por aeronave, por aerolínea, por día, entre otros.

El modelo tiene en cuenta los movimientos de las aeronaves (horario de arribo y partida al puesto de estacionamiento) junto a las características físicas del aeropuerto, por un lado. Además, este puede ser completado con otros inputs que permiten ajustarse aún más a la realidad como son el: tipo de vuelo (FSC, escala o LCC), cantidad de pasajeros, porcentaje de ocupación, entre otros.

A continuación, se detalla el proceso para el cálculo de las emisiones gaseosas derivadas de las operaciones de los GSE:



Fig. 1 Proceso lógico de trabajo para determinar la contaminación gaseosa.

La herramienta toma la suma del aporte contaminante debido a la discretización de tiempos de servicio según el proceso de espera, conexión, servicio (realización de la tarea en sí) y desconexión de los equipos GSE. El modelo integrado surge a partir del modelo 'sofisticado' para el cálculo de las emisiones brindado por la OACI que considera 5 factores, corrigiendo el factor de potencia, deterioro, carga, y tiempo operativo con el objetivo de potenciar el modelo.

$$\boldsymbol{E_{i,l}} = P_l . FE_{i,l} . f_{d_t} . \sum_{j=1}^{8} (fc_j . t_j)_i$$

Dónde,

$E_{i,l}$: Emisión gaseosa del contaminante '*i*', respecto del equipo GSE *'l'*. $[g]$ ó $[kg]$

P_i: Potencia al freno del equipo GSE '*l*', $[HP]$

$FE_{i,l}$: Factor de emisión del contaminante 'i', respecto del equipo GSE 'l', $\left[\frac{g}{HP.h}\right]$ ó $\left[\frac{kg}{HP.h}\right]$.

f_{c_j}: Factor de carga del equipo GSE por cada tiempo discretizado *'j'*, según operación de carga y descarga, adimensional.

f_{d_l}: Factor de deterioro del equipo GSE *'l'*, adimensional.

t_j: Tiempos discretizados de los GSE en la espera, conexión, servicio y desconexión para la carga y descarga, en unidades $[h]$.

Identificación del día de estudio

Identificar el Aeropuerto que se requiera estudiar y el día bajo estudio en función de los movimientos anuales es el primer análisis que se debe hacer para establecer los siguientes parámetros, que servirán de entrada al modelo, como: mezcla de tráfico, horarios de arribo y salida, puestos de estacionamiento, y perfiles de servicio (FSC- Full Service Carrier, escala y LCC- Low Cost Carrier).

Parametrización de la plataforma bajo estudio y asignación de puestos base de cada equipo GSE

Reconocido el Aeropuerto, la herramienta permite incorporar la figura de la plataforma extraída de Google Maps o Earth en formato (.jpg). Con la imagen cargada, el usuario procede a identificar los puestos de estacionamiento, vértices y puestos base de cada equipo GSE. Así, el modelo parametriza las distancias recorridas por cada vehículo de asistencia según sea la demanda (ver Fig. 2).



Fig. 2 Ubicación de base de los GSE y recorridos establecidos según herramienta desarrollada.

Procesamiento de los datos en el modelo desarrollado

El procesamiento de datos refiere a una serie de definiciones que el usuario debe asignar según sea el objetivo del estudio o datos definidos que se tenga.

El primer paso que sirve de input al modelo es la identificación de los elementos geométricos dependientes de la plataforma. En ella, se procede a escalar en metros las distancias, reconocer el origen de base de cada equipo GSE y la utilización de manga para cada puesto (esto dependerá de la necesidad de contar con vehículos de asistencia a los pasajeros como los buses o escaleras), tal como se muestra en la Fig. 3.

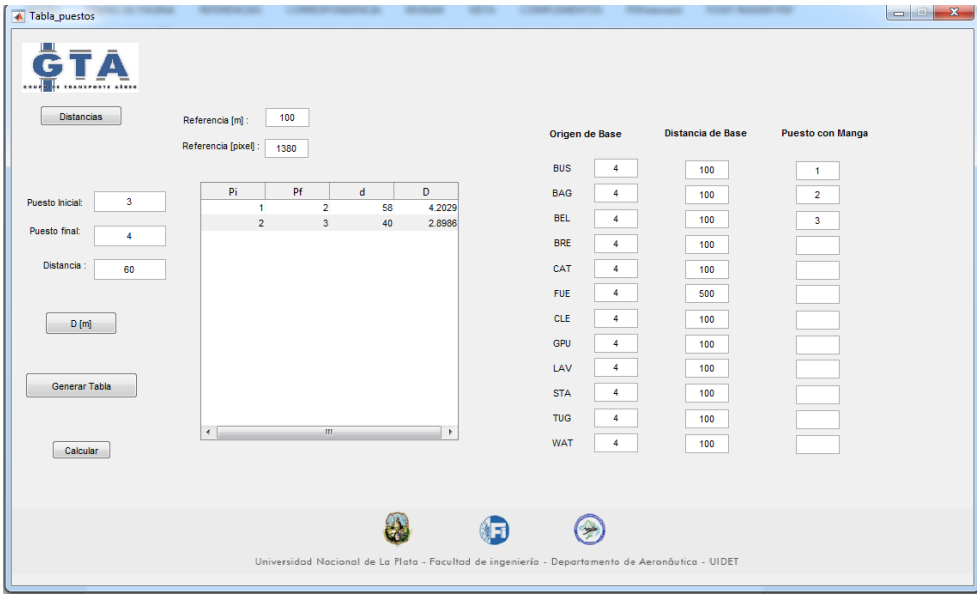


Fig. 3 Ingreso de datos, medición de distancias entre puestos y utilización de manga por puesto.

En el desarrollo del modelo se tienen en cuenta todos los tiempos por etapa (espera, conexión, servicio y desconexión) tanto para la descarga como carga, en donde se le asocia a cada uno un factor de carga correspondiente, tal como plantea [5]. Los tiempos de servicio pueden surgir de mediciones [4] o de datos de los Airport Planning.

Además, entre la principal información que es necesaria identificar es el tipo de vuelo. Esto se debe a que las características y cantidad de vehículos de asistencia dependen del tipo de operación de la aeronave. A continuación, se identifican las posibles configuraciones propuestas:

- Servicio origen-destino con conexión a terminal y en puesto remoto
- Servicio parcial o de escala con a terminal y en puesto remoto
- Low Cost Carrier (LCC)

El vuelo de origen-destino se identifica porque en el lugar de destino se realiza un intercambio completo de pasajeros, carga y combustible, en función de la programación del vuelo; en el vuelo de tránsito (escala) el intercambio de pasajeros, carga y combustible se hace de manera parcial y a diferencia del primero no cuenta con limpieza de cabina ni agua residuales.

Por su parte, en los vuelos LCC la velocidad, la eficiencia y la precisión son importantes en la operación para minimizar los tiempos de respuesta y los costos de manejo en tierra. Para el caso bajo estudio de este tipo de configuración, no se tienen en cuenta el Ground

Power Unit (GPU), catering, pushback, remolque de escaleras, bus de pasajeros ni vehículo para la limpieza de cabina [6].

Resultados

En función de los datos y la profundización que se requiera según el usuario, se podrán obtener valores de emisión según los gases analizados para la circulación y servicio de los GSE. También, se podrían obtener valores de emisión por puesto, por aeronave, por pasajero o por aerolínea.

Además, la herramienta cuantifica la cantidad de vehículos requeridos para la demanda según la distribución de la modalidad planteada.

A continuación, se muestra a modo de visualización la tabla con los resultados de salida que ejecuta el modelo.

Tabla 1 Resultados del cálculo de emisión de gases de algunos GSE expresado en Kg

		CO2	CO	HC	NOx	SOx	PM10
Catering	Servicio	274,80	0,51	0,22	1,11	0,05	0,09
	Circulación	17,52	0,03	0,01	0,07	0,00	0,01
	Total	292,32	0,54	0,24	1,18	0,05	0,10
GPU	Servicio	430,23	1,70	0,51	6,92	0,09	0,56
	Circulación	0,89	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	Total	431,12	1,71	0,51	6,93	0,09	0,56

Visualización de resultados

La herramienta desarrollada permite, además de extraer datos en formato .xls, la visualización de emisiones según GSE, puesto, aeronaves, aerolíneas, etc. A continuación, en la Fig. 4 se presentan los resultados en donde se comparan las emisiones según operación (servicio y circulación) para cada GSE en una demanda dada.

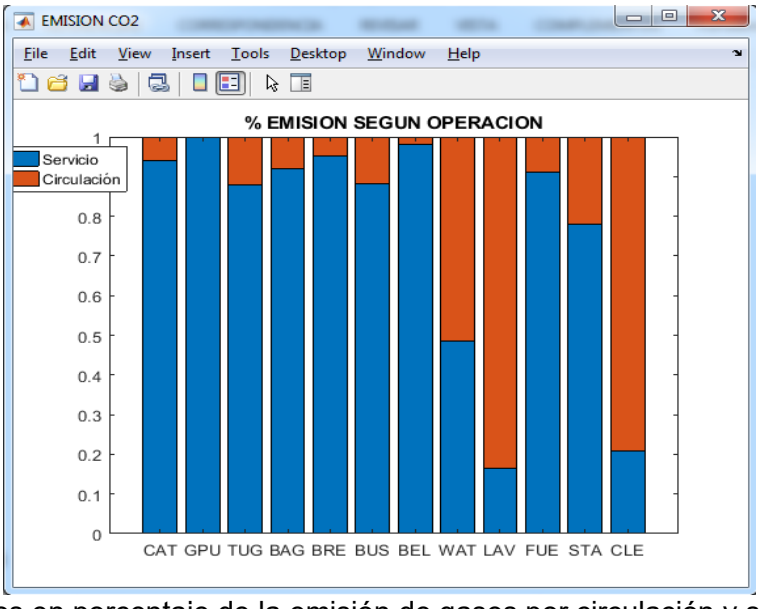


Fig. 4 Resultados en porcentaje de la emisión de gases por circulación y servicio de los GSE según herramienta

Conclusiones

La aplicación de esta herramienta presenta permite realizar inventarios anuales de emisiones gaseosas producto de la actividad de los vehículos de transporte de pasajeros a las aeronaves que operaron puestos de plataforma remotos. Se propone un modelo surgido del método de cálculo avalado por ICAO, y por distintas organizaciones a nivel internacional, determinado como sofisticado, donde los resultados obtenidos presentan un nivel de confianza y exactitud como muy elevado. Dicho método contempla las emisiones de los GSE producto de la circulación y el servicio a la aeronave.

La visualización de resultados de las emisiones por puesto permite identificar cuáles son los críticos. Esto admite proponer posibles medidas de mitigación para posterior reducción de emisiones. Además, dado que el modelo cuantifica las emisiones según los puestos, es posible visualizar aquellos que más emisiones asociadas en circulación poseen. Teniendo en cuenta la distancia a la base, y la dificultad operativa debido a la estrategia respecto a cuestiones de capacidad, permite recomendar posibles redistribuciones de operaciones en mayor medida de los diversos puestos a otros más cercanos o viceversa.

Para lograr una caracterización completa de los gases contaminantes producto de la actividad aeroportuaria este tipo de herramienta debería ser complementado con el análisis de las emisiones de las otras fuentes presentes en un aeropuerto: parte pública, fuentes puntuales, vehículos de acceso en tierra (GAVs: Ground Access Vehicles), entre otros.

Bibliografía

[1] World Health Organization, “WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide,” *Glob. Updat. 2005 Summ. risk Assess.*, 2005.
[2] ICAO, *Airport air quality manual*, vol. 1. 2011.
[3] Airport Cooperative Research Program, *Airport Ground Support Equipment (GSE): Emission Reduction Strategies, Inventory, and Tutorial*. 2012.
[4] L. Sznajderman, “Cuantificación del aporte contaminante gaseoso producto de las operaciones de GSE en plataforma: metodología según tiempos operativos,” *CAIA V*, pp. 1–11, 2018.
[5] L. Sznajderman, G. Ram, and C. A. Di Bernardi, “Influence of the Apron Parking Stand Management Policy on Aircraft and Ground Support Equipment (GSE) Gaseous Emissions at Airports,” *MDPI*, p. 25, 2021.
[6] Y. L. Tan, “Differences in Ground Handling in the Global Market Yik Lun Tan,” pp. 1–34, 2010.

PROMOCIÓN DEL TRANSPORTE AÉREO EN ARGENTINA. INNOVACIÓN EN LA GESTIÓN PARA EL DESARROLLO.

Piechocki, Joaquín[1]; Rabert, Marcelo[2]; Di Bernardi, C.Alejandro[1],

[1]Grupo Transporte Aéreo – UIDET "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: joaquin.piechocki@ing.unlp.edu.ar

[2]Instituto de Ingeniería y Agronomía, Universidad Nacional Arturo Jauretche.

Palabras clave: desarrollo sostenible, transporte aéreo, aerolíneas, políticas de fomento.

INTRODUCCIÓN

El impacto positivo del transporte aéreo en los procesos de desarrollo sostenible, sobre todo en su fase de introducción, ha sido muy estudiado y modelado, mostrando abundantes manifestaciones en la experiencia mundial. El resultado de su inserción es, por un lado, la catálisis en la generación de empleo, directo, indirecto e inducido, y por otro lado, la habilitación de cadenas de suministros, la integración productiva y de mercado (Bradley, 2006; Kaberry, 2007). Esta cadena causal se manifiesta en la correlación entre la magnitud de la industria del trasporte aéreo y el crecimiento local del empleo y del PBI.

Los mecanismos de apalancamiento e integración de cadenas de valor asociados a la circulación y producción de conocimiento, estudiados por las ciencias de la economía (Greenwald & Stiglitz, 2013), habilitan trayectorias de desarrollo que sin ellos estarían negados. El transporte aéreo muestra una codependencia estructural de distintos sectores de producción de saberes, del turismo a las manufacturas. Por otro lado, también resulta evidente que la vinculación aérea facilita el despliegue de políticas públicas. Por otra parte, la desvinculación de la influencia del transporte aéreo representa una barrera al desarrollo, que se ve agravada con los ciclos de crisis. Ambos fenómenos justifican el esfuerzo de diferentes estados nacionales en la promoción de la apertura de rutas de regiones distantes (Bråthen, 2016; Halpern N. &., 2015; Fageda, 2019; Ishutkina, 2011). Han sido los estados nacionales quienes han ejercido un rol central en la mayoría de las aerolíneas que más crecieron en los últimos tiempos, como ser Vietnam Airlines, Qatar Airways, Turkish Airlines and Dubai's Emirates Airlines, a partir de políticas de expansión del transporte aéreo. Si existen condiciones de debilidad relativa de la estructura económica, entonces el despliegue de políticas de promoción del transporte aéreo se vuelve una herramienta aún más importante. El transporte aéreo tiene la característica de oficiar de herramienta inhomogénea de desarrollo, contribuyendo decisivamente a la dimensión económica y social, en función de la capacidad de acceso de la población y la alineación con la planificación regional (UNCSD, EUROCONTROL, ATAG).

Es posible observar que la introducción de nuevos servicios regulares de conexión aérea tiene a la aerolínea como agente central, alrededor de la cual las condiciones de la infraestructura, la capacidad de gestión, las regulaciones, y las interrelaciones con el sistema de transporte, se asocian. Por otro lado, la demanda de transporte aéreo tiene como principal mecanismo de estimulación al precio del billete.

Cabe preguntarse entonces qué diseño de gestión del fomento puede pensarse para reunir la mayor cantidad de complementariedades para el desarrollo de rutas aéreas y la expansión de la red de transporte aéreo nacional.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Promoción del transporte aéreo

La hipótesis inicial de este trabajo es que existen regiones que no tienen servicios de transporte aéreo y que podrían generar en el futuro una demanda sostenida suficiente para la operación de vuelos regulares sin incentivos. Estas regiones pueden modelarse como territorios donde un determinado aeropuerto, como terminal de concentración local de la demanda, despliega su influencia.

Puede observarse que la casuística de políticas de promoción del transporte aérea converge en dos objetivos generales para la expansión de la demanda en una región objetivo: la regularización de la operación aérea en una frecuencia mínima, y el establecimiento de condiciones que garantice su efecto inductor. Ambos están intrínsecamente asociados a la gestión del transportista, que es la estructura nuclear que sostiene las operaciones en el ensamblaje productivo. Los precios de los boletos se muestran (Metrass-Mendes, 2010; Christodoulou, 2009; Smyth, 2012) como el factor determinante en la inducción de la demanda, lo que indica una alta elasticidad de precio. La clasificación de políticas de promoción como basadas en rutas, en pasajeros, en aerolíneas y/o en aeropuertos (Fageda, 2019) permiten ver cuáles ha sido la dirección de los esfuerzos en el sentido propuesto.

Las políticas basadas en rutas y pasajeros requieren las aerolíneas orienten sus operaciones a un aeropuerto siguiendo determinada acción de estímulo. Pone de manifiesto que aerolíneas y aeropuertos son los agentes que influyen directamente en la regularización de las operaciones. La promoción de una ruta será atractiva para una aerolínea, si las características específicas de la demanda pueden moldearse al tipo de operaciones a las que se orienta su gestión. En la práctica este hecho supone el desinterés general de los transportistas presentes en los aeropuertos principales en realizar acciones de promoción de rutas, incluso bajo políticas de estímulo, fundada en la colisión con las condiciones de la demanda.

Si los incentivos se tipifican (Halpern N. G., 2016) en financieros (incentivos directos, descuentos en tarifas e impuestos, acuerdos de gestión de riesgos) y no financieros (como la provisión de información reguladora y de mercado, asociaciones entre aerolíneas, cooperación y asistencia cruzada en la red de transporte involucrada), es porque se dirigen explícitamente a hacer posibles las operaciones. La experiencia muestra que la industria del turismo, el gobierno local y los agentes económicos locales se desempeñan mejor en el desarrollo de rutas secundarias con medidas y acciones codependientes.

Este simple hecho permite observar una vacancia en la industria del transporte aéreo que es un patrón general, caracterizada centralmente por la incompatibilidad relativa de las operaciones de las aerolíneas convencionales con el desarrollo de rutas aéreas. Adicionalmente, si caracterizamos el Sistema Nacional de Aeropuertos, SNA, de acuerdo a los modelos introducidos por Goodovitch (Goodovitch, 1996), es posible observar que la introducción de una nueva ruta al sistema implica una pérdida de eficiencia de la red, al menos temporalmente, hasta su asimilación sistémica.

Es necesario, por estas razones, concebir un modo de intervención, que pueda centralizar el conocimiento relacionado con la promoción, materializar una práctica operativa para las condiciones infraestructura de las rutas a desarrollar y articular la captura del valor disperso para la financiación de la acción. Las políticas de desarrollo que están llamadas a ser cubiertas son: identificación y desarrollo de servicios económicamente viables, determinación del tipo y magnitud de incentivos, y coordinación de acuerdos de soporte y cooperación. Estos aspectos muestran dos dimensiones interrelacionadas. Por un lado, el diseño de una operación específica que determinará la configuración técnica y de costos del servicio, pero también las relaciones funcionales. Por otro lado, la conformación de una

arquitectura de incentivo que determinará la estructura de financiación inicial. La articulación de estas dimensiones representa un factor principal del desempeño de las políticas de promoción.

Desarrollo de nuevas rutas

Si tomamos el modelo de seis fases de Goodovitch (Goodovitch, 1996), podemos observar que presenta un período de tiempo en donde la configuración de red se adapta para integrar las operaciones de origen-destino nuevas de manera de cubrir con su influencia el territorio, al mismo tiempo que la demanda madura. Las posteriores fases corresponden a estadios del mercado aerocomercial convencional, que articula con menores niveles de intervención pública y mayor competencia. La dinámica de esta evolución se muestra el aumento monótono de los kilómetros de pasajeros transportado, de los asientos ofrecidos, y de la infraestructura de la red. En términos de operaciones, sin embargo, es necesario mantener niveles de ocupación elevados en cada fase. Este hecho significa que las aeronaves que operan en la red en fases maduras no suelen ser propicias para las fases iniciales.

El desarrollo de las condiciones operativas representa un aspecto central de la articulación de agentes en el desarrollo de rutas (Martin, 2009). Si una aerolínea ofrece una nueva conexión, en conjunto con los aeropuertos de origen y destino, los servicios de navegación, y el resto de agentes del ensamblaje productivo, compone prácticas operativas que determinan los costos del servicio.

Entonces, si el factor de inducción principal de la demanda es el precio del boleto, una alineación que vaya en este sentido implicará un diseño de operaciones adaptadas a las condiciones locales, y una funcionalización de la estructura de transacciones de los agentes. Se vuelve a observar que es el transportista quien tiene el principal poder de complementación en este sentido.

La aparición de nuevas rutas implica la concurrencia de decisiones originadas en diferentes actores, individuos e instituciones, que posibilitan la articulación entre la dimensión operativa y la financiación. En este sentido, las estrategias de acuerdo cooperativo a largo plazo (Lohmann, 2016) han mostrado ser las estrategias que mejor funcionaron en términos de vinculación, entre las que se encuentran el uso acordado de capacidades operativas entre aerolíneas (generalmente asociadas con el uso de códigos compartidos).

El agente especializado – gestión del conocimiento

La experiencia evidencia el caso general donde las conexiones aéreas se establecen a partir del interés de aerolíneas presentes en el sistema. Esto resulta como la consecuencia de la adecuación de la oferta a la demanda, bajo determinadas condiciones de fomento; lo cual supone su adaptación a las características operativas del destino, que asuman un determinado nivel de riesgo y escenarios de rentabilidad, entre otras condiciones. Entonces se observa con claridad cómo la debilidad estructural de un destino no conectado produce que la lógica de mercado general no lo integre a la red de transporte aéreo.

Los diferentes enfoques de fomento muestran que una política de desarrollo de nuevas rutas basadas en una aerolínea especializada, como herramienta de aplicación, podría tener una efectividad sobresaliente si articula complementariedades entre las partes interesadas y se gestiona el conocimiento del rol específico, orientado al desarrollo sostenible. Un agente dedicado a esta tarea permitiría poner bajo una misma dirección centralizada, la integración territorial y su desarrollo de manera instrumental, durante períodos de tiempo limitado, en los que se despliegue cada proyecto de promoción.

El análisis de los tipos de incentivo muestra que la aerolínea es quien maneja la estructura de costos de las operaciones, y por lo tanto, una gestión dedicada al fomento, con prácticas específicamente diseñadas, garantiza, como mínimo, menores costos de transacción y una configuración operativa mejor adaptada que las formas de intervención tradicionales, además de alinear los recursos del esfuerzo de fomento a las necesidades específicas de la función.

Su desempeño depende de preservar, desarrollar, hacer circular y tener disponibles los saberes que guíen las intervenciones de promoción. El monitoreo y la evaluación de los resultados, entre los que se encuentra la relación entre costos y beneficios, son críticos para estos fines, y también para la comunicación de los resultados del esfuerzo social. Por lo tanto, la gestión del conocimiento, asistida por las TICs, permite pensar en la generación de beneficios a partir de la consolidación de lecciones derivadas de la práctica y su análisis.

Un instrumento de promoción efectivo para el desarrollo de nuevas conexiones tendría que poder:

- complementar condiciones específicas de demanda, operación e infraestructura, e implementar intervenciones de promoción tanto tácticas como estratégicas;
- articular diversas fuentes de contribución para el costeo (públicas y privadas), incluidos los estados nacionales, provinciales y locales, como los agentes económicos privados, incluyendo mecanismos de captura de valor;
- desarrollar estimaciones de efectos económicos, sociales y ambientales;
- desarrollar, mantener y circular saberes relacionados con las mejores prácticas de promoción del transporte aéreo en las condiciones de Argentina;
- mantener los costos de los proyectos de promoción en condiciones mínimas, sin que esto implique la formación de costos hundidos, durante períodos de tiempo acotados.

Tanto las denominadas aerolíneas de bajo costo, LCC, como las franquicias de aerolíneas, han mostrado experiencias en el sentido indicado. El modelo de franquicia de aerolínea (Pender, 1999) ha evidenciado el alto valor de gestiones con un alto nivel de estandarización y de integración de procesos, en funciones de desarrollo y promoción.

Las fases de creación de rutas, pero también el sentido de su función y la expectativa de la recuperación del esfuerzo social, indican que las intervenciones del agente necesitan diseñarse en base a plazos de proyecto, propiciando una transición al mercado regular y a sus operadores.

Auerbach (Auerbach & Koch, 2007) ha mostrado que las estrategias de cooperación relacionada al desarrollo conjunto es un factor de éxito. Una de las relaciones más evidentes es con los aeropuertos de origen y destino. No obstante, no se limitan a las que surgen del ensamblaje de producción, y por lo tanto, es necesario analizar las cadenas de valor de los diferentes actores sociales involucrados, que incluye a la industria del turismo. Si bien el mayor valor agregado se produce cuando esta cooperación se lleva a cabo en el campo de las actividades primarias de producción de transporte, las actividades complementarias aportan valor y tienen el potencial de influir en la creación de externalidades positivas.

Los costos de las aerolíneas a menudo se dividen en directos e indirectos. La elección de la flota configura en gran medida su estructura de costos. Las aeronaves pequeñas turbohélice tienen costos operativos más bajos por hora que los jets más utilizados por las aerolíneas, aunque pueden tener costos operativos más altos por unidad de servicio ofrecida (Martin, 2009). Este tipo de aeronaves, también supone menores costos de adquisición y de establecimiento de los servicios de soporte. De manera concurrente, en las dos primeras fases del desarrollo de la ruta, compatibles con su establecimiento, aeronaves de menor porte ofrecen ventajas operativas como la de poder operar en pistas de menor longitud. Vale la pena

observar que las LCC nos indican que es posible lograr reducciones de costos operativos derivadas de prácticas, que incluye la utilización de un modelo único de aeronave, lo que refuerza la idea de una gestión técnica centralizada, para lograr economías de escala.

Otras ventajas derivadas de este tipo de gestión centralizada es el desarrollo específico de calificaciones y conocimientos funcionales, la gestión de marcos regulatorios, y de fondos de diferentes administraciones políticas y privadas; pero también, de manera simultánea la habilitación de un factor clave que es la vinculación productiva, la asociación y cooperación, vertical y horizontal, con otros agentes productivos en el sistema: sistema de transporte aéreo, empresas de servicios, cámaras de turismo y comercio, gobiernos locales, industrias.

CONCLUSIONES

La principal conclusión del trabajo es que la perspectiva de mercado del transporte aéreo regular, y bajo la consideración de las implicancias del proceso de desarrollo de redes de transporte aéreo, desalienta estructuralmente el desarrollo de nuevas rutas.

La integración territorial a partir del transporte aéreo ha demostrado a lo largo de la experiencia internacional su impacto positivo en términos de desarrollo, con un efecto de catálisis económica y social que puede observarse en la multiplicación de empleo.

Un agente especializado en la fase de desarrollo de rutas, que las opere bajo una configuración adaptada a la promoción e integración del transporte aéreo durante un período de tiempo de transición, agrega numerosas posibilidades de complementación y generación de externalidades positivas. En particular, permite asimilar su acción a la de proyectos de desarrollo, integrando funciones de expansión de los subsistemas implicados (físicos, y fe información) y de financiamiento, durante períodos de tiempo establecidos. Por otro lado, la organización centralizada de un agente dedicado a la promoción del transporte aéreo, que gestione el conocimiento y la generación de valor, con intervenciones en distintos puntos de la red, permitiendo la transferencia de recursos y la generación de economías de escala, se muestra como una intervención innovadora en los procesos de desarrollo que tiene el potencial desencadenante de procesos de desarrollo sostenible para muchas regiones de nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

Auerbach, S., & Koch, B. (2007). Cooperative approaches to managing air traffic efficiently—the airline perspective. *Journal of Air Transport Management*, vol. 13, no 1, p. 37-44.
Bradley, N. C. (2006). Managing airport positioning dynamics in the private sector. *Journal of Airport Management*, 38-58.
Bråthen, S. (2016). *Air transport provision in remoter regions.* Routledge.
Christodoulou, G. e. (2009). The Route Development Fund (RDF)—can we sustain air transport in the regions. *Proceedings of the European Transport Conference.*
Fageda, X. S.-A. (2019). Air transport connectivity of remote regions: the impacts of public policies. *Regional Studies*, 1161-1169.
Goodovitch, T. (1996). A theory of air transport development. Transportation Planning and Technology. *Transportation Planning and Technology*, 1-13.
Greenwald, B., & Stiglitz, J. E. (2013). Industrial policies, the creation of a learning society, and economic development. En *The Industrial Policy Revolution I* (págs. 43-71). Palgrave Macmillan UK.
Halpern, N. &. (2015). Airport route development: A survey of current practice. *Tourism Management*, 213-221.
Halpern, N. G. (2016). Factors affecting airport route development activity and performance. *Journal of Air Transport Management*, 69-78.

Ishutkina, M. A. (2011). Analysis of the interaction between air transportation and economic activity: a worldwide perspective. *ICAT*.
Kaberry, R. &. (2007). Social benefits of low fares airlines in Europe. . *European Low Fares Airlines Association (ELFAA), York Aviation.*
Lohmann, G. &. (2016). Air route suspension: The role of stakeholder engagement and aviation and non-aviation factors. *Journal of Air Transport Management*, 199-210.
Martin, S. C. (2009). *Passenger air service development techniques.* ACRP Report, USA.
Metrass-Mendes, A. &. (2010). Air transportation policy for small communities: lessons from the US experience. *ATRS World Conference Proceedings.* Oporto, Portugal.
Pender, L. (1999). European aviation: the emergence of franchised airline operations. *Tourism Management*, vol. 20, no 5, p. 565-574.
Smyth, A. C. (2012). Is air transport a necessity for social inclusion and economic development? *Journal of Air Transport Management*, 53-59

AEROPUERTOS - CONCEPTO DINÁMICO DE FRANJAS DE PISTA SEGÚN TIPO DE OPERACIÓN

Pitrelli, Sergio F; Di Bernardi, C. Alejandro; Pesarini, Alejandro J.

Grupo Transporte Aéreo – UIDET "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: sergio.pitrelli@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: OACI, pista, franjas, operación, dimensiones.

Introducción

La necesidad de optimizar el aprovechamiento de las infraestructuras en los aeropuertos reviste especial interés desde varios puntos de vista, pudiendo ser, entre otros, operacionales, ambientales, o económicos.

Naturalmente las pistas no escapan a esta realidad. Los requerimientos operacionales impuestos por la mezcla de tráfico según combinación de aeronave, tipo de propulsor y pesos operacionales requeridos para los orígenes/destinos establecidos por los planes de negocios de las aerolíneas demandan una pista "requerida" mientras que el aeropuerto ofrece, a través de su infraestructura existente, una pista "disponible". En ese sentido, poder aprovechar al máximo la infraestructura disponible, a través del análisis de sus distancias declaradas, resulta de vital importancia para la optimización del sistema aeroportuario.

Para lograr ello resulta necesario la aplicación de las normas vigentes en todo de acuerdo con lo establecido en las mismas teniendo siempre presente las operaciones que en dichas pistas se darán en un todo de acuerdo con la seguridad operacional exigida.

En este contexto, surgen interrogantes como, ¿la franja de pista es única para la pista física determinada por infraestructura?, o ¿existe la posibilidad de determinar diferentes franjas para cada pista en función de la operación que allí se realiza?, es por ello que un concepto de "pista operativa" y "franja dinámica" toma relevancia.

El objeto del presente trabajo es, mostrar criterios de aplicación práctica al concepto de franjas de pista "operativa" con una idea más dinámica y en aprovechamiento de las infraestructuras existentes en los aeropuertos, considerando que el punto 3.4 Franjas de pista del Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional de la Organización de Aviación Civil determina como plural las referencia a las franjas y en singular las referencias a la pista, abriendo así una interpretación complementaria y diferente al uso y costumbres habituales.

El alcance del presente se centra en el análisis de la aplicación según las definiciones y características de una franja de pista establecidas en el Anexo 14, 8va Edición, 2018 .

Desarrollo y discusión

Dado que, por una parte, las franjas de pistas son áreas que rodean una pista y sus zonas de parada, si las hubiese, que deben tener características tales que reduzcan el daño a las aeronaves que transitan por la misma ante la eventual posibilidad de salida de pista y por otro lado proporcionar un área libre de obstáculos con el objeto de proteger a las aeronaves que la sobrevuelan durante las operaciones de despegue y aterrizaje.

En ese sentido este breve documento pretende presentar opciones para la implementación de las franjas de forma segura observando sus definiciones sin perder de

vista el tipo de operación que allí se realiza, con el objeto de evitar algún tipo de penalización impuesta por la infraestructura y permitir una mayor flexibilidad de implementación.

Según normativa internacional tenemos las siguientes definiciones (Anexo 14, 2018)

Franja de pista. Una superficie definida que comprende la pista y la zona de parada, si la hubiese, destinada a:

a) reducir el riesgo de daños a las aeronaves que se salgan de la pista; y

b) proteger a las aeronaves que la sobrevuelan durante las operaciones de despegue o aterrizaje.

Observación 1. La definición de franja está asociada a la pista y a la zona de parada

Pista. Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves.

Pista para aproximaciones de precisión. Véase ***Pista de vuelo por instrumentos.***

Pista de despegue. Pista destinada exclusivamente a los despegues.

Pista de vuelo por instrumentos. Uno de los siguientes tipos de pista destinados a la operación de aeronaves que utilizan procedimientos de aproximación por instrumentos:

a) *Pista para aproximaciones que no son de precisión*. Pista de vuelo servida por ayudas visuales y ayudas no visuales destinada a operaciones de aterrizaje después de una operación de aproximación por instrumentos de Tipo A y con visibilidad no inferior a 1 000 m.

b) *Pista para aproximaciones de precisión de Categoría I.* Pista de vuelo servida por ayudas visuales y ayudas no visuales destinadas a operaciones de aterrizaje después de una operación de aproximación por instrumentos de Tipo B con una altura de decisión (DH) no inferior a 60 m (200 ft) y con una visibilidad de no menos de 800 m o con un alcance visual en la pista no inferior a 550 m.

c) *Pista para aproximaciones de precisión de Categoría II.* Pista de vuelo servida por ayudas visuales y ayudas no visuales destinadas a operaciones de aterrizaje después de una operación de aproximación por instrumentos de Tipo B con una altura de decisión (DH) inferior a 60 m (200 ft) pero no inferior a 30 m (100 ft) y con un alcance visual en la pista no inferior a 300 m.

d) *Pista para aproximaciones de precisión de Categoría III.* Pista de vuelo servida por ayudas visuales y ayudas no visuales destinada a operaciones de aterrizaje después de una operación de aproximación por instrumentos de Tipo B hasta la superficie de la pista y a lo largo de la misma; y

A — destinada a operaciones con una altura de decisión (DH) inferior a 30 m (100 ft), o sin altura de decisión y un alcance visual en la pista no inferior a 175 m.

B — destinada a operaciones con una altura de decisión (DH) inferior a 15 m (50 ft), o sin altura de decisión, y un alcance visual en la pista inferior a 175 m pero no inferior a 50 m.

C — destinada a operaciones sin altura de decisión (DH) y sin restricciones de alcance visual en la pista.

Nota 1.— Las ayudas visuales no tienen necesariamente que acomodarse a la escala que caracterice las ayudas no visuales que se proporcionen. El criterio para la selección de las ayudas visuales se basa en las condiciones en que se trata de operar.

Nota 2.— Consúltese el Anexo 6 — Operación de aeronaves, *para los tipos de operaciones de aproximación por instrumentos.*

Pista de vuelo visual. Pista destinada a las operaciones de aeronaves que utilicen procedimientos de aproximación visual o un procedimiento de aproximación por instrumentos a un punto más allá del cual pueda continuarse la aproximación en condiciones meteorológicas de vuelo visual.

Observación 2. Como se aprecia la definición de pista está asociada a la pista según tipo de operación en la que ella se realiza

Casos de estudio

Aplicando lo anterior se determinan las dimensiones de una franja de pista para

Caso A. Aeropuerto con dos pistas

Aeropuerto genérico con dos pistas parales de iguales dimensiones con operaciones segregadas (operaciones simultaneas donde una pista estará dedicada exclusivamente a los aterrizajes y la otra a los despegues). En ambos casos la clave de referencia del aeródromo será “4E”, y las pistas no contarán ni con SWY (zona de parada) ni CWY (zona libre de obstáculos). Además la pista de aterrizaje será para operaciones de aproximación de

precisión CAT I, Nota: en los esquemas desarrollados a continuación el avión representa el sentido de operación de la pista.

La longitud de la franja pista está dada por (Anexo 14, 2018):

Longitud de las franjas de pista

3.4.2 Toda franja se extenderá antes del umbral y más allá del extremo de la pista o de la zona de parada hasta una distancia de por lo menos:

— 60 m cuando el número de clave sea 2, 3 ó 4;

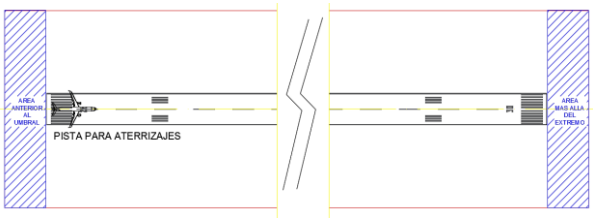
— 60 m cuando el número de clave sea 1 y la pista sea de vuelo por instrumentos; y

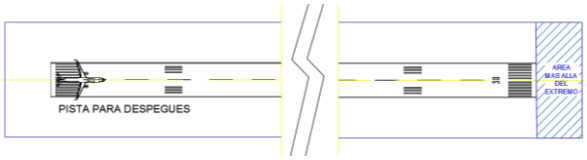
— 30 m cuando el número de clave sea 1 y la pista sea de vuelo visual.

En definiciones indicadas en 1.1 del Anexo 14 se define el umbral, pero no el extremo:

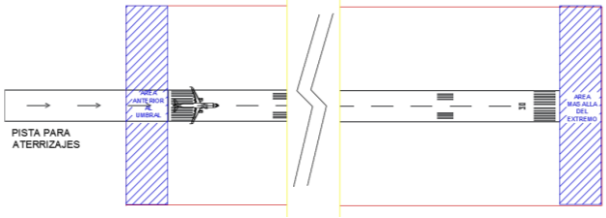
Umbral. Comienzo de la parte de pista utilizable para el aterrizaje.

Observación 3. Se determina así, un área antes del umbral y más allá del extremo, entendiendo al extremo de pista como la extremidad opuesta al umbral, es decir el fin de la carrera tanto en despegue como aterrizaje, en otras palabras, no se define un área anterior al extremo coincidente con el comienzo de la carrera de despegue. En un esquema sería lo siguiente:





En una pista con umbral desplazado sería los siguiente:



La anchura de la franja está dada por (Anexo 14, 2018) según categoría de aproximación y clave de referencia del aeródromo.

Anchura de las franjas de pista

3.4.3 Siempre que sea posible, toda franja que comprenda una pista para aproximaciones de precisión se extenderá lateralmente hasta una distancia de por lo menos:

— 140 m cuando el número de clave sea 3 ó 4; y

— 70 m cuando el número de clave sea 1 ó 2;

a cada lado del eje de la pista y de su prolongación a lo largo de la franja.

3.4.4 **Recomendación.—** *Toda franja que comprenda una pista para aproximaciones que no sean de precisión debería extenderse lateralmente hasta una distancia de por lo menos:*

— *140 m cuando el número de clave sea 3 ó 4; y*

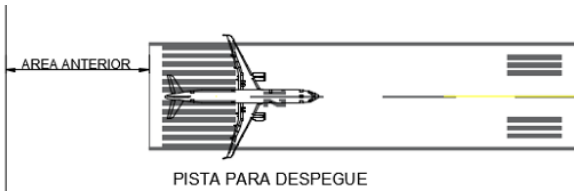
— *70 m cuando el número de clave sea 1 ó 2;*

a cada lado del eje de la pista y de su prolongación a lo largo de la franja.

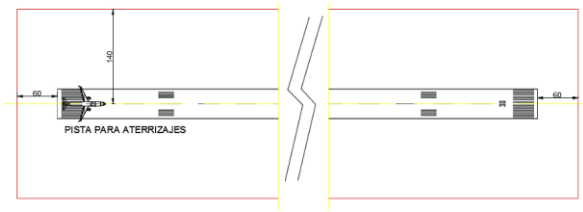
> 3.4.5 **Recomendación.—** *Toda franja que comprenda una pista de vuelo visual debería extenderse a cada lado del eje de la pista y de su prolongación a lo largo de la franja, hasta una distancia de por lo menos:*
>
> — *75 m cuando el número de clave sea 3 ó 4;*
>
> — *40 m cuando el número de clave sea 2; y*
>
> — *30 m cuando el número de clave sea 1.*

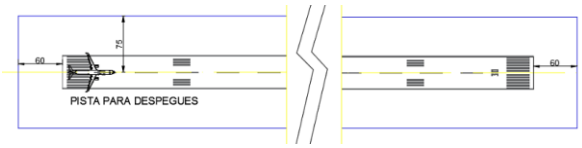
Observación 4. En el caso de la pista para aterrizajes cabe preguntarse ¿porque la dimensión de una franja de pista utilizada solo para aterrizaje se determina según el numero clave?, (si este último está relacionado directamente a la longitud de campo de referencia (LCR), la cual es una longitud requerida por el avión para el despegue en unas condiciones determinadas) Es decir, porque algunas de las características de la franja están dadas para un tipo de operación, sin hacer referencia a los despegues de manera directa.

Observación 5. Por otra, para la pista de despegue cabe preguntarse ¿cuál es el sentido de tener una porción o área de franja anterior al comienzo de pista "umbral" cuando la pista solo se utiliza para despegues?



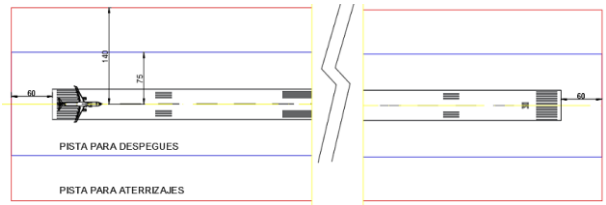
Según el tipo de operación tendríamos las siguientes franjas:





Caso B. Aeropuerto con una pista derivada del caso A

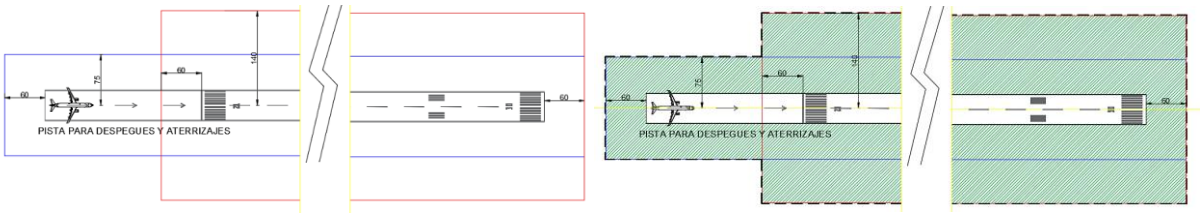
Tomando el caso anterior, si suponemos que, por necesidades determinadas hay que anular una de las pistas y llevar todas las operaciones a la que queda operativa tendríamos lo siguiente:



Lógicamente la franja es una sola, con lo cual tendríamos la más amplia (roja) ya que la otra queda contenida en ella.

Caso C. Aeropuerto con una pista derivada del caso A y con umbral desplazado

Siguiendo la línea de pensamiento anterior, en caso de aeropuertos con una sola pista, pero con el umbral desplazado una distancia determinada, lo que se tendría se represente en el siguiente esquema:



Observación 6. La franja de pista ya no sería de una anchura fija, sino que parte de la misma estaría determinada por la necesidad del tipo de operación para la que este previsto

Por otra parte (Anexo 14, 2018):

Nivelación de las franjas de pista

3.4.8 **Recomendación.—** *La parte de una franja que comprenda una pista de vuelo por instrumentos, debería proveer, hasta una distancia de por lo menos:*

— 75 m cuando el número de clave sea 3 ó 4; y

— 40 m cuando el número de clave sea 1 ó 2;

del eje de la pista y de su prolongación, un área nivelada en atención a los aviones a que está destinada la pista en el caso de que un avión se salga de ella.

Nota.— En el Adjunto A, Sección 9, se da orientación sobre la nivelación de un área más amplia de una franja que comprenda una pista para aproximaciones de precisión cuando el número de clave sea 3 ó 4.

3.4.9 **Recomendación.—** *La parte de una franja de una pista de vuelo visual debería proveer, hasta una distancia de por lo menos:*

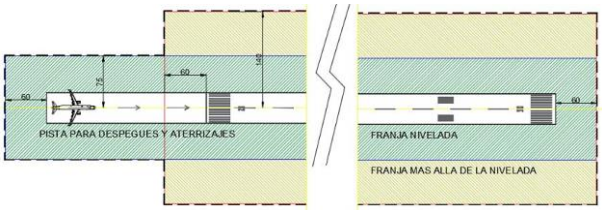
— 75 m cuando el número de clave sea 3 ó 4;

— 40 m cuando el número de clave sea 2; y

— 30 m cuando el número de clave sea 1;

desde el eje de la pista y de su prolongación, un área nivelada destinada a los aviones para los que está prevista la pista, en el caso de que un avión se salga de la misma.

Observación 7. en el caso de nivelación de franja no se asocia las áreas a nivelar con algún tipo de aproximación sino al tipo de vuelo (instrumental o visual) para las que están destinadas las pistas y también, claro está se la asocia al tipo de avión a través de la clave



Además (Anexo 14, 2018) de lo anterior en el Adjunto A sección 9 se indica que:

9.3 Nivelación de una franja en pistas para aproximaciones de precisión

En el Capítulo 3, 3.4.8, se recomienda que la parte de una franja que comprenda una pista de vuelo por instrumentos con número de clave 3 ó 4 se nivele hasta una distancia del eje de la pista de 75 m por lo menos. En el caso de las pistas para aproximaciones de precisión, sería conveniente adoptar una anchura mayor si el número de clave es 3 ó 4. En la Figura A-4

se indican la forma y dimensiones de una franja más ancha que podría considerarse para dichas pistas. Esta franja se ha proyectado utilizando los datos sobre las aeronaves que se salen de la pista. La parte que debe nivelarse se extiende lateralmente hasta una distancia de 105 m desde el eje, pero esta distancia se reduce paulatinamente a 75 m en ambos extremos de la franja, a lo largo de una distancia de 150 m, contada desde el extremo de la pista.

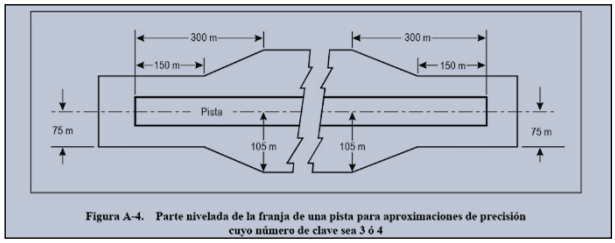
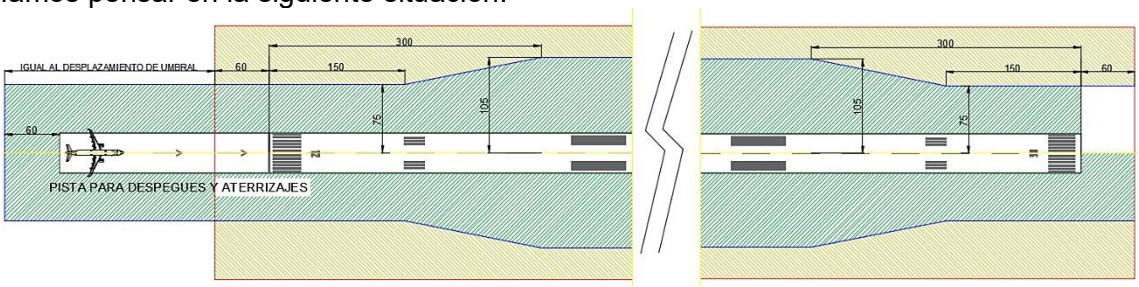


Figura A-4. Parte nivelada de la franja de una pista para aproximaciones de precisión cuyo número de clave sea 3 ó 4

Observación 8. En este caso menciona que para el caso de una recomendación es conveniente ampliar dicha recomendación, con lo cual parece haber anidar una recomendación dentro de otra más conveniente, en estos puntos (3.4.8 – 3.4.9 y sección 9 del Adjunto A) siempre se refiere a la distancia lateral, pero respecto a la longitudinal se menciona siempre a la prolongación del eje de pista.

Observación 9. Se menciona además que esta forma es por tener en cuenta las aeronaves que se salen de pista entendiendo que se refiere a sucesos de over run (salida por extremo de pista aterrizando o despegando), veer off (salidas laterales ya sea despegando o aterrizando) y under shut aterrizando.

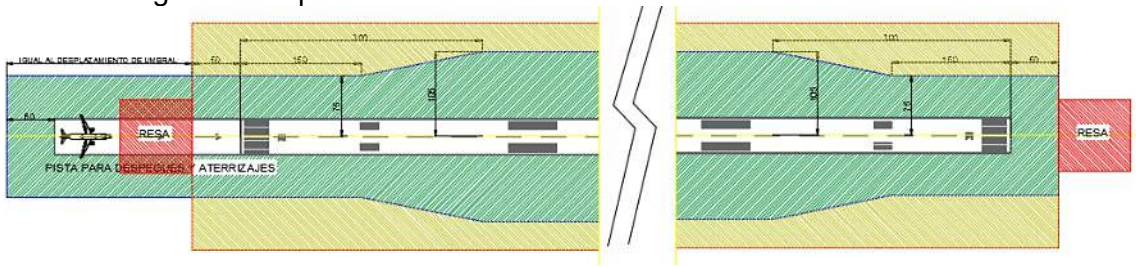
Por lo anteriormente expresado, si tenemos una pista con umbrales coincidentes con extremos no tendríamos problemas, pero para el caso de pistas con un umbral desplazado podríamos pensar en la siguiente situación:



Incluso si aplicamos la definición (Anexo 14, 2018) de área de seguridad de extremo de pista (RESA)

> ***Área de seguridad de extremo de pista (RESA).*** Área simétrica respecto a la prolongación del eje de la pista y adyacente al extremo de la franja, cuyo objeto principal consiste en reducir el riesgo de daños a un avión que efectúe un aterrizaje demasiado corto o se salga del final de la pista.

Tendremos el siguiente esquema:



Conclusiones

Hemos presentado tres casos de estudio con sus respectivos comentarios y observaciones de los cuales claramente surge la posibilidad de determinar franjas de pistas “dinámicas” según el tipo de operación que en cada pista se realiza contemplando siempre las distancias declaradas disponibles.

Claramente este concepto se aparta del criterio tradicional de franja de pista envolvente, del tipo estático, sin contemplación operativa tal cual prima de manera habitual.

La diferencia entre un concepto tradicional y el propuesto, de carácter dinámico, podría transformarse en solución a los problemas que suelen darse en muchos aeropuertos con necesidad de optimización de sus espacios disponibles para así poder declarar dimensiones de franja de pista en un todo de acuerdo con el Anexo 14 pero con una mirada operativa diferenciadora.

Lo anterior proporciona mayor flexibilidad y posibilidad de aprovechamiento de las infraestructuras disponibles quedando para instancias superiores de discusión la decisión de ajustar y adecuar estos conceptos en la normativa de referencia internacional.

Bibliografía

Anexo 14. 8va Edición (2018). *Volumen I Diseño y Operaciones de Aeródromos.* Organización Aviación Civil Internacional (OACI).

.

RESIDUOS Y DESARROLLO. NOTAS PARA EL DISEÑO DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (GIRSU) EN EL AMBA.

Piechocki, Joaquín, Nadal Mora, Vicente J., Pezzotti, Santiago

Grupo de Ingeniería Aplicada a la Industria, UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina. Joaquin.piechocki@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: desarrollo sostenible, políticas de desarrollo, gestión de residuos.

INTRODUCCIÓN

¿Cómo podría configurarse un sistema de gestión de residuos que promueva el desarrollo sostenible de las comunidades a la que sirve, en el contexto del estadio del sistema socio productivo que nos rige? ¿Qué lineamientos generales pueden concebirse para definir modos de funcionamiento que promuevan la creación de soluciones para nuestras poblaciones, periféricas en el sentido de organización geopolítica, y globalizadas en cuanto a la biopolítica?

Esta es una pregunta que supone un posicionamiento, que asumimos, que procura la mitigación de los daños del circuito de producción-consumo desde la elaboración de prácticas de factible implementación. Desde esta perspectiva intentamos concebir rasgos de una estrategia general de gestión integral de residuos sólidos urbanos a nivel municipal, GIRSU, para urbes en Argentina, que puedan integrarse a transformaciones que puedan devenir.

Dentro de la cultura que impera, es posible observar la presencia inescindible del residuo como categoría, dentro del circuito de consumo. Es posible conceptualizarla con múltiples representaciones sociales, en cada uno de los mecanismos vinculares de los sujetos. Una definición posible es que los residuos son las fracciones desintegradas que derivan del circuito de producción y consumo de bienes y servicios a lo largo de su ciclo de vida (que vincula objeto, producto e historia productiva). Tienen la impronta singular de ser definidas por el acto de descarte, localizado en tiempo y espacio, y que supone su escisión sobre una función dada. Es posible observar que en nuestra vida doméstica los residuos se mantienen en una relativa opacidad al respecto de la circulación de objetos, principalmente porque es necesario sustraerlos como manifestación para darle continuidad al circuito de consumo. Este hecho ha tenido emergentes históricos, sobre todo a partir del nacimiento del capitalismo moderno, que confirman su importancia desde la aparición de sistemas ordenados desde la intervención pública destinados a la recolección y tratamiento de residuos (Roberts, 2004).

El acto de descarte implica un impacto que se encuentra estructuralmente deslocalizado temporal y espacialmente de esa instancia fundacional. Esta deslocalización tiene la característica de ser fuertemente regresiva en términos sociales. Las ganancias del proceso de circulación de bienes y servicios se dirigen hacia los agentes donde se acumula el capital, en escala local, nacional y global, mientras que los pasivos ambientales se socializan, impactando con mayor magnitud en los pobladores con menor poder de influencia, que incluye a las generaciones por venir. Este fenómeno profundiza las condiciones de impacto social y ambiental, como las que evidencia la gran mayoría de casos de exportación de residuos de países centrales a países periféricos (Wong, 2007).

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Es necesario reconsiderar, en el sentido de la búsqueda de lineamientos de un sistema de GIRSU, el concepto de desarrollo y sostenibilidad. Estos dos conceptos, los cuales se los suele nombrar agrupados, incluyen tensiones internas en su definición, vinculadas a la contradicción de sus objetivos: la sostenibilidad ambiental y social, y el desarrollo económico. Por un lado, en el concepto de sostenibilidad se asocian las dimensiones de aceptación social

y ambiental en su devenimiento temporal. Por otro lado, el desarrollo económico supone mantener una tendencia sostenida de crecimiento económico, de circulación, que permita enfrentar el crecimiento de la población mundial y su búsqueda de bienestar, en un contexto de estabilidad de intereses; que nos devuelve a la dimensión social. La generación de empleo representa un factor central del desarrollo en este sentido, cuya correlación con el crecimiento del PBI ha sido ampliamente documentada (Seyfried, 2011).

La problemática de la GIRSU tiene características distintivas. En primer lugar, se puede mencionar la dinámica socio-productiva, y por lo tanto de generación de residuos en el tiempo, tiene una expresión local específica. En Argentina la GIRSU se encuentra delegada a los municipios, mientras que la articulación productiva característica va más allá de la escala municipal, llegando incluso a cadenas de aprovisionamiento globales. Los municipios destinan a la GIRSU porciones presupuestarias, vale decir de esfuerzo social, que suele representar el ítem de mayor incidencia. En contraste, suelen lograr un desempeño limitado en la recolección, traslado y disposición final en rellenos sanitarios (por ejemplo CEAMSE) de los residuos.

Es posible entender a la gran parte de las estrategias de GIRSU como apoyadas en tres mitos (Buclet, 2013), los cuales son de concreción imposible y que si son considerados de forma aislada, pueden resultar un obstáculo de diseño. Estos son: el mito de la sociedad desmaterializada, el mito de los ciclos perpetuos de los materiales o de economía circular, el mito de la maestría técnica.

La problemática que plantea la tensión entre sostenibilidad y desarrollo resulta en una posibilidad de orientación en el desarrollo de modelos de aplicación de GIRSU. Su búsqueda, por lo tanto, será la de recrear flujos materiales que resulten beneficiosos para los distintos actores intervinientes, la generación de economías de escala, la internalización de externalidades positivas, y a la disminución de costos de transacción (Roberts, 2004). Entre estas externalidades se puede destacar (Greenwald & Stiglitz, 2013) la generación de saberes y conocimientos, que es condición necesaria para consolidar un modelo de desarrollo. En este se propone a los saberes como bien público, como complemento indispensable de la incorporación de capital (Page, 2017) (Stiglitz, 1999) (Radner, 1984) para el desarrollo; cuyo fomento se encuentra asociado a la circulación, resguardo y gestión. Estos dos enfoques revelan una complementariedad que sugiere que existe un despliegue de vinculaciones de cercanía, locales, que debe formularse para que los procesos de desarrollo ocurran. En este sentido resulta distintivo de los procesos económicos de desarrollo sostenible la necesidad de contar con nuevos tipos de actividad económica y procesos, que integren integración de uso de materiales, y servicios, primarios (vírgenes) y secundarios (previamente utilizados), que se encuentren integrados a la GIRSU, que compartan un espacio común de construcción de cadenas de valor (empleo), y que den soporte a las actividades de investigación, desarrollo y la circulación de saberes.

La asociación de estos modelos a la GIRSU implica pensar en una articulación que necesita incluir las políticas de ciencia y técnica, educativas, producción pública, impositivas, de compras públicas, de financiamiento, de patentes, y de propiedad intelectual. Sobre la base de este conjunto se propone la búsqueda del fomento de encadenamientos productivos en torno a la GIRSU, que cree valor en una dinámica económica que impulse la búsqueda de los objetivos ambientales y sociales del desarrollo. El papel de la política de ciencia y técnica juega un papel crucial en este modelo. En particular porque la dirección de la actividad de generación de saberes debe guardar el sentido de bien público, debe operar evitando las restricciones de movimiento de los saberes entre complejos productivos, debe abocarse a interactuar sobre las distintas producciones locales asumiendo los costos de generación de conocimiento, intentando eliminar las distancias de saberes relativos.

Consecuentemente el papel de la gestión pública es central, porque el sector privado tiene objetivos de asignación de prioridades orientados por otros influjos. Este planteo indica que el complejo científico-tecnológico se articule con la producción nacional, con el estado, tanto en

su dimensión ejecutiva como reguladora, con la demanda social. Esta visión ha tenido referentes locales que en algún sentido han entendido de manera equivalente al sistema argentino (Sábato, 2011).

El análisis anterior muestra una primera dificultad, que es el de la escala nacional de las políticas públicas y de la coordinación productiva privada, y de la GIRSU, que es de gestión municipal. Por lo tanto, la posibilidad de estructurar respuestas con este nivel de integración se licúa en la disparidad de poder. Este hecho resulta evidente en el tipo de GIRSU que los municipios del AMBA han logrado estabilizar, y en los costos sociales derivados. Es necesario entonces sumar a los lineamientos anteriores un canal entre los ámbitos de planificación general (políticas nacionales y provinciales) con la planificación y ejecución local (de escala municipal).

Imaginar un plan como el sugerido, supone la creación de unidades de GIRSU asociadas en una política general, que considere variantes sociotécnicas para ser aplicadas localmente. Entonces, también necesita de la formulación de un Plan Maestro local que establezca el diálogo necesario entre las instancias. Además, es necesario que las políticas locales recojan los aprendizajes que se generen, y permitan su gestión compartida con el universo de casos que componen la GIRSU en Argentina. Es esta multiplicidad la característica fundamental que dotaría al sistema de aprendizaje y planificación para su desarrollo (Marshall, 2013). En esta estructura de descentralización y proximidad espacial, bajo un enfoque de aglomeración productiva, es posible la búsqueda de las mejores economías de escala, de transacción y de alcance, para cada caso de GIRSU de aplicación local.

En esta misma línea de ejercicio de concepción es necesario formular una integración de las etapas de medición y monitoreo público del desempeño, de la investigación y desarrollo (en torno a un proyecto nacional de GIRSU), que fomente la asociación interdependiente, la estabilidad temporal y la circulación de saberes, como también la construcción de espacios comunes de generación de valor, aprovisionamiento, y mercados.

La perspectiva general de una planificación centralizada en este sentido debe incluir la búsqueda de cadenas de procesos y producciones dentro de las GIRSU tales que tiendan a la:

- minimización del impacto ambiental de la actividad de consumo humano a través el análisis de los ciclos de consumo y de los ciclos de vida de los procesos de la GIRSU,
- integración de los residuos a las cadenas de producción de valor, buscando la mayor valorización posible de los RSU y la mayor utilidad neta,
- búsqueda continua de reducción de costos en términos de sostenibilidad de la GIRSU.

La planificación de la GIRSU necesita de escenarios de concreción que permitan la incorporación de la mejora continua y la gestión del conocimiento, incorporando la gestión de riesgos en su despliegue deslocalizado en tiempo y espacio. Para esto es necesario contar con una coordinación centralizada, que articule su funcionamiento con otras áreas de gestión local, provincial y nacional: esta necesita incluir herramientas fiscales, políticas productivas y comerciales, gestión de la información y de la participación, y apoyo del aparato de investigación nacional.

En este mismo sentido, la perspectiva de la oferta de bienes y servicios necesita integrar el residuo dentro del espacio de su gestión, en búsqueda de la reversión del carácter regresivo social mencionado, y como actor destinatario de la reinserción de flujos materiales.

Es posible pensar a las unidades de GIRSU como inductoras de producciones derivadas de los materiales secundarios, bajo la condición que su huella ambiental y social sea positiva. Este lineamiento puede incorporar distintas configuraciones asociativas y de generación de empleo, en torno a producciones entre las que podríamos mencionar como ejemplo: conformados aglomerados para la construcción, agregados para mezclas asfálticas, lanas

aislantes, áridos, compost, pellets plásticos, leña ecológica, biodiesel, energía de la revalorización energética de residuos.

Entre las técnicas analizadas (Piechocki, Nadal Mora, Pezzotti, & al., 2019), la gasificación por plasma muestra beneficios ambientales, económicos y sociales que viabilizan y hacen recomendable su aplicación. Corresponde a la técnica de valorización energética que implica mayores beneficios ambientales comparado con la disposición en rellenos sanitarios o con otras técnicas como la gasificación pirolítica o la incineración. Esta técnica permite además generar energía de manera distribuida para ser volcada en la red local. Además, permite la descentralización del sistema. Su interrelación con políticas de descentralización operativa profundiza estos beneficios. Esta técnica posibilita el tratamiento de residuos contaminados y patogénicos sin derivaciones funcionales en el sistema. Finalmente, esta técnica, permite evitar las erogaciones económicas, impacto ambiental y sanitario, correspondientes a la disposición en rellenos del CEAMSE, lo cual viabiliza su implementación y repago. Se muestra, por tanto, como la mejor disponible para la disposición de fracciones no compostables, ni reciclables, ni reutilizables, y puede representar una pieza clave en la reestructuración del sistema de GIRSU para los municipios del AMBA. Por último, permite el tratamiento en escalas pequeñas (comunal o vecinal), en escalas medias (municipal), y en grandes escalas (provincial); lo cual permite diseños distribuidos en función de las oportunidades de manejo y reducción del impacto.

Por otro lado, el compostaje y autocompostaje es otra herramienta que permitiría obtener nuevos horizontes en el desempeño general del sistema, asociadas a fracciones orgánicas.

Desde el punto de vista de la reconsideración cultural de la población general y las comunidades en torno a los residuos, es necesario impulsar un proceso de identificación con lo que genera nuestra forma de vida y la responsabilidad en torno a ella, que incluya la acción individual sin que signifique una delegación cínica: disminución del consumo, procesamiento doméstico, asociación con procesos derivados de las GIRSU.

En investigaciones que se vienen desarrollando desde la UIDET GTA-GIAI (Piechocki, Nadal Mora, Pezzotti, & al., 2019) se evidenció que es posible reemplazar, al menos parcialmente, la disposición final de residuos sólidos, a partir de la reutilización, reciclado y valorización de los flujos residuales, con un impacto presupuestario, ambiental y social de gran magnitud. Este efecto no sólo resulta de evitar la disposición en rellenos sanitarios, sino también de cambios en la estructura logística de los residuos y en el ciclo de vida del procesamiento. Por otra parte, también se demuestra que los fenómenos de deslocalización se reducen notablemente: los cuales necesitan un seguimiento a partir de indicadores específicos que vinculen la dimensión social, económica y ambiental, los que se presentan como propuestas de evaluación permanente del sistema.

CONCLUSIONES

Jorge Aleman (Alemán, 2010) propone como programa general de desarrollo: anudar estado, movimientos sociales, procedimientos institucionales, que invente en su heterogeneidad e interacción un proyecto de nación. Desde distintas disciplinas se intenta recrear un camino que promueva el bienestar social, en un clima de época que evidencia con crudeza el fracaso del sistema biopolítico que impera como medio para tal fin, sobre todo para países periféricos como Argentina. El aparato de ciencia y técnica emerge como agente de relevancia por dos motivos principales: como generador de una distorsión económica necesaria para el desarrollo y como reformulación del sentido de la ciencia y técnica como bien público nacional.

La GIRSU representa una oportunidad concreta de articulación de una acción de este tipo, que promueva el desarrollo sostenible.

Los estudios realizados por la UIDET GTA-GIAI muestran alternativas de implementación de tratamiento de RSU a escala municipal y barrial.

Samuel Robinson, hace dos siglos, atravesado por el desafío de la emancipación americana, dijo: “o inventamos o erramos”.

Bibliografía

Alemán, J. (2010). *Conjeturas para una izquierda lacaniana: intervenciones y textos.* Grama Ediciones.

Auerbach, S., & Koch, B. (2007). Cooperative approaches to managing air traffic efficiently—the airline perspective. *Journal of Air Transport Management*, vol. 13, no 1, p. 37-44.

Bradley, N. C. (2006). Managing airport positioning dynamics in the private sector. *Journal of Airport Management*, 38-58.

Bråthen, S. (2016). *Air transport provision in remoter regions.* Routledge.

Buclet, N. e. (2013). *Municipal waste management in Europe: a comparative study in building regimes.* Springer Science & Business Media.

Christodoulou, G. e. (2009). The Route Development Fund (RDF)—can we sustain air transport in the regions. *Proceedings of the European Transport Conference.*

Fageda, X. S.-A. (2019). Air transport connectivity of remote regions: the impacts of public policies. *Regional Studies*, 1161-1169.

Goodovitch, T. (1996). A theory of air transport development. Transportation Planning and Technology. *Transportation Planning and Technology*, 1-13.

Greenwald, B., & Stiglitz, J. E. (2013). Industrial policies, the creation of a learning society, and economic development. En *The Industrial Policy Revolution I* (págs. 43-71). Palgrave Macmillan UK.

Halpern, N. &. (2015). Airport route development: A survey of current practice. *Tourism Management*, 213-221.

Halpern, N. G. (2016). Factors affecting airport route development activity and performance. *Journal of Air Transport Management*, 69-78.

Ishutkina, M. A. (2011). Analysis of the interaction between air transportation and economic activity: a worldwide perspective. *ICAT*.

Kaberry, R. &. (2007). Social benefits of low fares airlines in Europe. . *European Low Fares Airlines Association (ELFAA), York Aviation.*

Lohmann, G. &. (2016). Air route suspension: The role of stakeholder engagement and aviation and non-aviation factors. *Journal of Air Transport Management*, 199-210.

Marshall, R. E. (2013). Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste management*, 988-1003.

Martin, S. C. (2009). *Passenger air service development techniques.* ACRP Report, USA.

Metrass-Mendes, A. &. (2010). Air transportation policy for small communities: lessons from the US experience. *ATRS World Conference Proceedings.* Oporto, Portugal.

Page, J. &. (2017). *The Practice of Industrial Policy: Government—Business Coordination in Africa and East Asia.* Oxford University Press.

Pender, L. (1999). European aviation: the emergence of franchised airline operations. *Tourism Management*, vol. 20, no 5, p. 565-574.

Piechocki, J., Nadal Mora, V., Pezzotti, S., & al., e. (2019). Gasificación de residuos en la gestión integral de residuos municipales: contribuciones a la sustentabilidad urbana. *SEDICI*.

Radner, R. &. (1984). Nonconcavity in the Value of Information. . *Bayesian models in economic theory*.

Roberts, P. (2004). Wealth from waste: local and regional economic development and the environment. *Geographical Journal*, 126-134.

Sábato, J. A. (2011). *El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia tecnología desarrollo dependencia.* Buenos Aires: Ediciones Biblioteca Nacional.

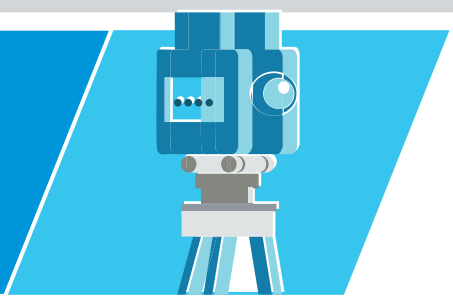
Seyfried, W. (2011). Examining the relationship between employment and economic growth in the ten largest states. *Southwestern Economic Review*, 13-24.

Smyth, A. C. (2012). Is air transport a necessity for social inclusion and economic development? *Journal of Air Transport Management*, 53-59.

Stiglitz, J. E. (1999). Knowledge as a global public good. Global public goods. *Global public goods*, 308-326.

Wong, M. H. (2007). Export of toxic chemicals–a review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling. *Environmental Pollution*, 131-140.

AGRIMENSURA



"Teledetección y SIG para correlacionar espacios verdes y población en Bahía Blanca."

Pizzichini, Claudia M.[1]; Sisti, Jorge M. [2]

[1] Univ. Nacional del Sur, Depto. Ingeniería. Av. Alem 1253 – Bahía Blanca (CP 8000); E-mail: claudiapizzi@gmail.com

[2] Fac. Ing. UNLP – P. Remota / Agrimensura. E-mail: jsisti@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: espacios verdes; índice verde; teledetección; SIG.

Introducción

Los espacios verdes son considerados los pulmones de las ciudades, permiten mantener la relación entre los habitantes y la naturaleza y mejoran la salud de la población a través de la purificación del aire. Ellos colaboran a que el manto acuífero mantenga la humedad del suelo y sirven de nexo entre el medio ambiente y los habitantes. Las áreas verdes crecen en importancia, toda vez que son consideradas un factor importante en la salud y bienestar del habitante urbano (Mena *et al*., 2011; Lima *et al.* 1994) definen los términos empleados en este trabajo referidos a áreas verdes. Ellos recomiendan estandarizar y uniformar la terminología utilizada en estudios relacionados con áreas verdes urbanas. Así definimos:

- Área Verde: espacio con predominio de vegetación arbórea, que incluye plazas, jardines en espacios públicos y parques urbanos, así como también la vegetación arbórea ubicada en la parte central de algunas vías públicas.

- Arborización Urbana: aquí se encuadran a las especies arbóreas que se ubican dentro de la zona urbana como los ubicados en las veredas.

- Espacio Abierto: espacio libre de especies arbóreas. Aquí se incorporan a los espacios libres de construcciones que a futuro pueden pasar a integrar las áreas verdes.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que las ciudades dispongan, como mínimo, un área verde de entre 10 m^2 a 15 m^2 por habitante, distribuidos proporcionalmente en relación a la densidad de población (Búfalo, 2008; Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2008; Tella y Potocko, 2009). Si bien en otros documentos, la OMS ha recomendado 9 m^2 por habitante (Gómez Lopera, 2005), en este trabajo se aceptó el valor de 10 m^2 por habitante como valor mínimo. La Comunidad Económica Europea (CEE) ha señalado la conveniencia de alcanzar estándares de 10 a 20 m^2 por habitante (Gómez Lopera, 2005). De este modo se puede determinar la cantidad de espacios verdes existentes y calcular los requeridos, diferenciando las áreas según las densidades de población. Al Índice Verde Urbano se lo define como la cantidad de metros cuadrados de áreas verdes que existen por cada habitante en las ciudades.

El objetivo general de este trabajo fue determinar la relación existente entre las áreas verdes de la ciudad de Bahía Blanca y su densidad de población, considerando como área verde al espacio ocupado por vegetación arbórea en áreas privadas y públicas, con lo que se incluye la denominada arborización urbana. La determinación de este índice facilitará al gobierno de la ciudad la posibilidad de evaluar el cumplimiento de los índices establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de esta manera se podrá abordar los aspectos técnicos que permitan aproximarse a dichos índices, cuando éstos resulten menores. La obtención de información numérica será relevante para el organismo municipal.

Los objetivos específicos que llevó adelante esta investigación fueron: determinar la localización y distribución de las áreas verdes en la ciudad de Bahía Blanca y calcular los índices indicativos de superficie por habitante de cada una de las fracciones censales. Teniendo en cuenta los objetivos planteados, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son la herramienta capaz de almacenar, manipular, gestionar y representar gráficamente

datos con algún tipo de componente espacial (Chuvieco, 2010) estableciendo en este caso las relaciones de densidad entre superficie y cantidad de habitantes.

Materiales y métodos

El área de estudio comprende la ciudad de Bahía Blanca, cabecera del partido homónimo, ubicada en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1). Si bien existe un relevamiento de plazas y espacios verdes de la ciudad incorporado como información georreferenciada disponible en la web (http://bahiablanca.opendata.junar.com/visualizations/9753/plazas-y-espacios-verdes/), en esta tarea se buscó agregar mediante una clasificación multiespectral de imagen satelital, todo el arbolado urbano existente. De esa manera se calcularon los índices que relacionan la superficie arbolada con la cantidad de habitantes, en cada fracción censal que posee la ciudad.

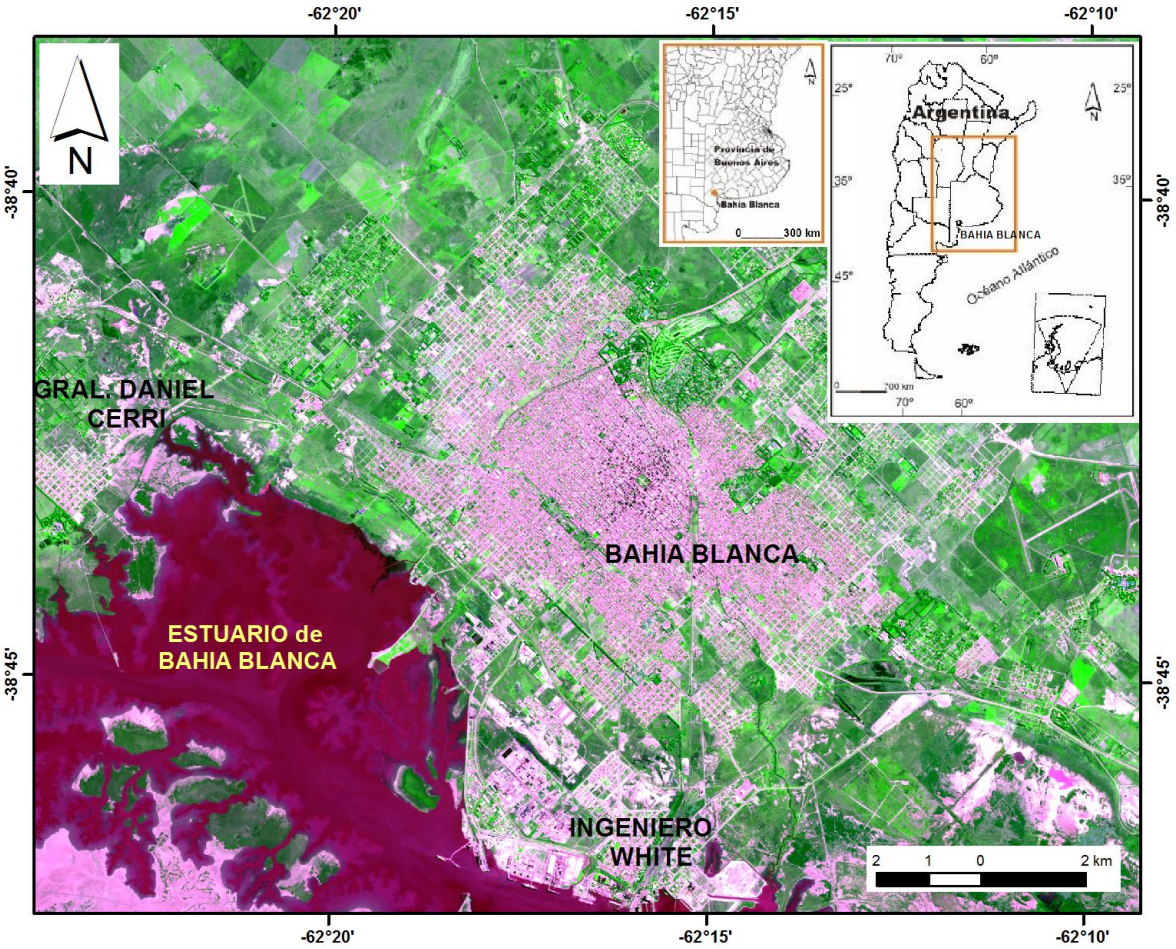


Figura 1: Imagen Spot 5 – RGB/312 del área de estudio.

Para esta presentación se utilizó una imagen del satélite Spot 5 de fecha 22 de septiembre de 2012 con resolución espacial de 10.m facilitada por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y datos de población a nivel de fracción del Censo Nacional del año 2010 con los archivos vectoriales que delimitan las fracciones censales, ambos provistos por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). El tratamiento de la información fue realizado con los programas ENVI 4.7 y ArcGis 10.2.2. Este trabajo muestra el resultado obtenido en dos fracciones censales de la ciudad de Bahía Blanca hallándose un índice para cada una de ellas.

La imagen utilizada es una subescena de la imagen Spot, que abarca toda la superficie urbana de la ciudad de Bahía Blanca; fue georreferenciada y corregida radiométricamente

llevando los valores de píxel a valores de radiancia. Con ella se realizaron las distintas composiciones de bandas que permitieron, mediante la interpretación visual, elegir la que facilitara discriminar mejor las diferentes coberturas del suelo. Se eligió la composición RGB/412. Los elementos de fotointerpretación como tono, color, textura y patrón permitieron reconocer las principales categorías presentes en la zona urbana que luego serían componentes de los distintos sitios de entrenamiento de la clasificación supervisada.

En una primera instancia, se realizó una clasificación no supervisada por el método K-Means a fin de lograr una aproximación de la delimitación de los espacios verdes (Santamaria y Aldalur, 2014); a partir de ella se pudieron determinar con mayor precisión las áreas de entrenamiento necesarias para realizar la clasificación supervisada. Se determinaron siete (7) categorías: edificado, arbolado, suelo desnudo, agua, vegetación baja, vegetación media y vías de comunicación.

A fin de seleccionar las bandas a utilizar en la clasificación supervisada, fue confeccionado un diagrama de signaturas espectrales para todas las coberturas. Se determinó que las bandas que presentaban mejor discriminación en la cubierta de arbolado eran las bandas 3 y 4. Se realizó la clasificación supervisada por el método de Máxima Probabilidad que asigna cada píxel a la clase con la que tiene más probabilidad de pertenecer (Chuvieco, 2010). Posteriormente, se realizó la post-clasificación donde la información obtenida fue evaluada a través de una matriz de confusión, empleando sitios de entrenamiento distintos de los usados en la clasificación original.

Sobre la base vectorial de las dos fracciones censales analizadas (Figura 2), se confeccionaron máscaras para cada una de ellas, a fin de aislar las superficies de estudio. Estas dos fracciones fueron elegidas para este trabajo pues en una de ellas se encuentra ubicado parte del casco histórico de la ciudad (Fracción 14) y en la otra, el único barrio parque emplazado en cercanías de la zona céntrica (Fracción 2). De esa manera, se obtuvieron las áreas verdes de cada fracción censal, las cuales fueron relacionadas con la cantidad de habitantes a fin de obtener los índices de cada fracción.

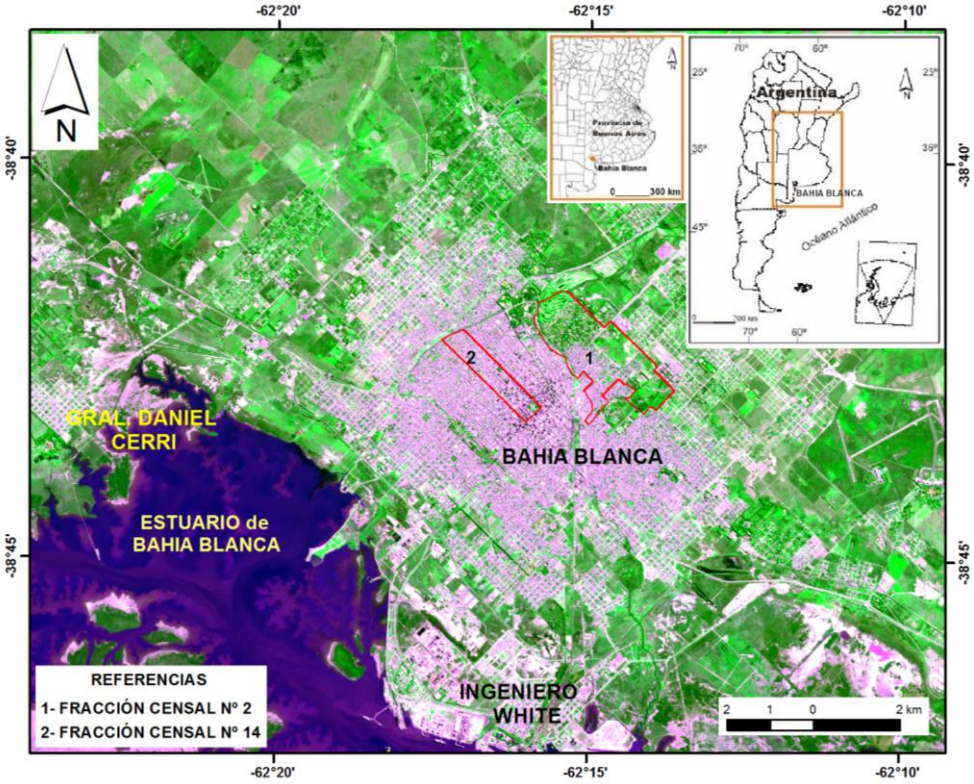


Figura 2: Fracciones censales sobre las que se calculó la densidad de espacios verdes sobre imagen Spot 5 – RGB/213.

Desarrollo y discusión

Los datos censales correspondientes a las dos fracciones fueron: fracción 14 de 11.114 habitantes y fracción 2 de 10.643 habitantes. La fracción 14 ocupa un área céntrica de la ciudad de 134 has. donde se destacan como espacios verdes, la plaza principal de la ciudad y un lugar de esparcimiento de dimensiones menores. La fracción 2 abarca una superficie de 425 has. y corresponde a un área forestada de la ciudad donde se emplaza parte de un campo de golf, un parque público y un barrio parque con importante forestación. La figura 3 muestra la imagen clasificada por el método de Máxima Probabilidad. En ella se observan las distintas coberturas presentes en la imagen. Los espacios destinados a vegetación arbórea se encuentran ubicados en su mayoría en la zona norte de la ciudad.

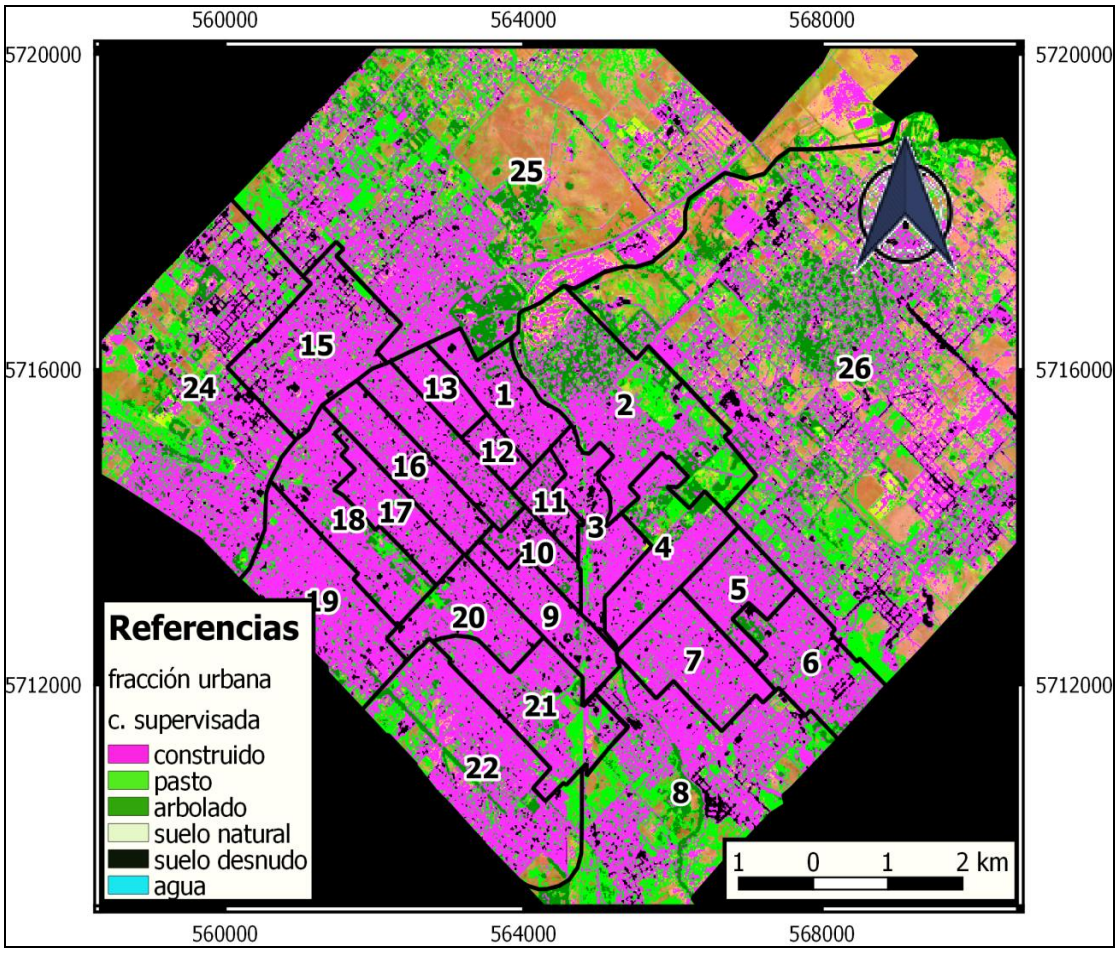
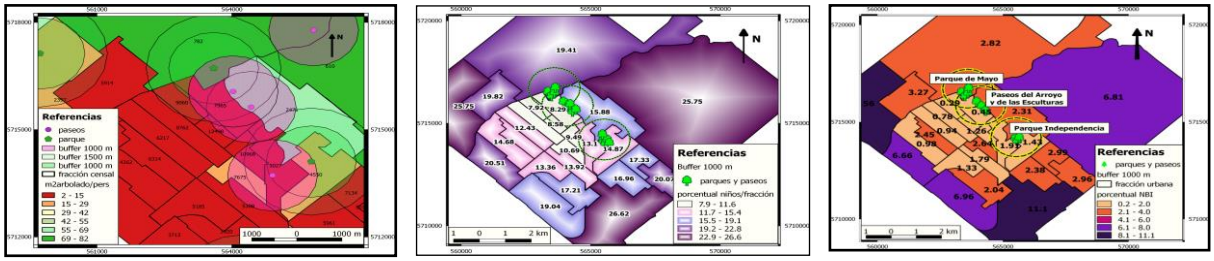


Figura 3: Imagen clasificada por el método de Máxima Probabilidad.

La fracción 14 posee una superficie de vegetación arbórea de 96.900 m^2, lo que corresponde a un índice de 8.7 m^2/hab. Este valor se encuentra por debajo del valor sugerido por la OMS. La fracción 2 tiene una superficie de espacio verde con vegetación arbórea de 877300 m^2, lo que determinó un índice de 82.4 m^2/hab, muy por encima de lo exigido por la OMS. La diferencia entre ambos índices se debe a que la superficie que abarca la fracción 2 posee una gran extensión destinada a parques y a lugares de esparcimiento. Los habitantes de esta fracción se encuentran ubicados en un espacio privilegiado en relación con el resto de la población.



Figuras 4: Índice Verde Urbano (IVU) por fracción censal.

Cuando se analiza el IVU, es importante considerar que quienes accedan a los espacios verdes públicos destinados a la recreación, no residan a más de 15 minutos a pie de distancia desde sus viviendas; por ello se delimitaron buffers de 1000 m con centros en parques y paseos.

En los planos anteriores elaborados con las variables obtenidas de la clasificación de imagen satelital y los datos censales a nivel fracción, procesados en el Sistema de Información Geográfica se obtienen los resultados de accesibilidad a los espacios recreativos de:

- De la población en general
- Acceso peatonal de niños
- Población con NBI (necesidades básicas insatisfechas)

Conclusiones

Este trabajo es un primer avance del proyecto elaborado y destinado a cubrir toda el área urbana. Si bien el análisis podría haberse desarrollado en forma global sobre toda la ciudad, el objetivo en este caso es evaluar la situación de los distintos sectores de la ciudad y detectar las áreas donde la densidad es menor de la sugerida por la OMS.

La obtención de los índices sobre la base de la división en fracciones permite reconocer cuáles son las áreas donde la población habita en un espacio que cumple con los índices deseables y se puede identificar las zonas menos favorecidas con espacios verdes.

El análisis de imágenes satelitales y de fotografías aéreas, junto a los datos censales, permite a partir de un Sistema de Información Geográfica, la determinación de los índices verdes de una ciudad. La elaboración a futuro de un mapa temático brindará la posibilidad de identificar de manera visual, los índices de los distintos sectores separados por fracciones censales, la ubicación de los espacios verdes y las zonas con índices homogéneos.

Las áreas emplazadas en la zona norte de la ciudad son las que poseen un IVU con valores por encima del mínimo propuesto por la OMS, se encuentran también en cercanías de dos de los espacios verdes públicos. Las áreas más alejadas de los centros de recreación (paseos y parques) son las que poseen mayor cantidad de hogares con NBI y mayor cantidad de población con niños menores de 12 años.

El SIG elaborado permite evaluar las zonas con carencia de lugares de esparcimiento. En el mismo sentido, también se pueden ubicar las zonas donde el IVU no supera los valores exigidos por la OMS, para incrementar el emplazamiento de nuevos espacios verdes.

Bibliografía.

Búfalo, L., 2008. El uso del espacio público y la apropiación privada del espacio en la ciudad de Córdoba. Revista Proyección, Ordenamiento Territorial en la Argentina, Instituto CIFOT, año 4, v. 2, n. 5, Mendoza, Argentina.

Chuvieco, E., 2010. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Ariel, 590 p., Barcelona, España.

Gómez Lopera, F., 2005. Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales, XXXVII (144), España.

Mena, C.; Ormazábal, Y.; Morales, R. y Gajardo, J., 2011. Índices de área verde y cobertura vegetal para la ciudad de Parral, Chile, mediante fotointerpretación y SIG. Ciencia Forestal, Santa María, v. 21, n. 3: 521-531, Chile.

Lima. A.M.L.P. Cavalheiro, F.; Nucci, J.C.; Sousa, M.A.L.B.; Fialho, N. Del Picchia, P.C.D. P., 1994. Problemas de utilização na Conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos. Anais. II Congresso de Arborização Urbana. São Luis, MA: 539-553, Brasil.

Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2008. Sostenibilidad local: una aproximación urbana y rural, Editorial Mundiprensa, 576 p., España.

Santamaria, M. y Aldalur, B., 2014. Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del arroyo Napostá Grande. Revista Geofocus n 14, 12 p.

Tella, G. y Potocko, A., 2009. Los espacios verdes públicos. Una delicada articulación entre demanda y posibilidades efectivas, Revista Mercado y Empresas para Servicios Públicos, n. 55: 40-55, Argentina.

Página web- http://bahiablanca.opendata.junar.com/visualizations/9753/plazas-y-espacios-verdes/

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE ENSAYO Y VERIFICACIÓN DE RECEPTORES GNSS RTK

Rohner, S. Agustín - Paús, Pablo - Romano, José - Aldasoro, Roberto – Bergamini, Javier

Facultad de Ingeniería, FI-UNLP, Universidad Nacional de La Plata - Calle 1 y 47 - La Plata (B1900TAG) - Buenos Aires - Argentina -, Tel.: 0221-425-8911 (int.254), agusrohner@gmail.com

Palabras claves: gnss rtk – metrología – agrimensura – incertidumbre – extensión

Introducción

El presente trabajo se enmarca dentro de una beca de extensión otorgada por la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Las tareas se realizaron de forma virtual con el Grupo de Metrología del Departamento de Agrimensura que desarrolla sus actividades en el Gabinete “Prof. Ing. Gabriel Jesús Gómez”, con la colaboración de personal del Laboratorio de Óptica, Calibraciones y Ensayo de la FCAGLP.

El levantamiento de puntos en modo cinemático en tiempo real (RTK, por sus siglas en inglés) es de uso habitual y extendido por profesionales de la Agrimensura. Pero regionalmente, el uso masivo de estas técnicas no ha sido acompañado por el desarrollo e implementación de métodos orientados a garantizar la calidad de las determinaciones efectuadas, ofreciendo la correspondiente certificación. La tendencia a nivel global es la adopción de normas internacionales, las cuales dentro del campo de la Geodesia y la Topografía (Normas ISO 17.123), establecen los procedimientos para la verificación de instrumentos. Por otro lado, para la implementación de estos procedimientos se deben observar los “requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”, como los establecidos en la norma ISO 17.025.

El objetivo de este trabajo consistió en analizar e implementar la norma ISO 17.123-8:2015 *GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK).* Esta norma establece los procedimientos de campo y gabinete para determinar la precisión (repetibilidad) de equipos GNSS aplicando la metodología RTK.

Este trabajo se suma a las tareas que viene desempeñando el Grupo de Metrología del Departamento de Agrimensura, en cuanto a la verificación y calibración de Instrumental Topogeodésico, orientadas a brindar al sector oficial y privado la posibilidad de disponer de un certificado de verificación y/o calibración de instrumental de uso corriente en la Ingeniería, y en particular en aplicaciones propias de la Agrimensura.

Desarrollo

Sistemas GNSS RTK

GNSS (Sistemas de Navegación Global por Satélite) es el término que se utiliza genéricamente para cualquier tipo de sistema de posicionamiento satelital. Los equipos receptores GNSS son el segmento de usuario en este sistema de posicionamiento, y su objetivo es observar las señales transmitidas por los satélites para calcular su posición sobre el globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire. Existen distintos tipos de técnicas GNSS, la norma ISO 17.123-8:2015 trata sobre los de tipo cinemático en tiempo real (RTK: Real Time Kinematics) que requiere del uso de dos o más receptores. Todos los equipos deben estar recibiendo en simultáneo la señal de, por los menos, cuatro satélites en común, lo que permitirá determinar posiciones (coordenadas en el espacio) sobre el terreno, prácticamente

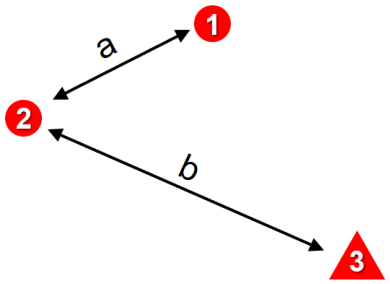
en cualquier parte del planeta, con una exactitud de algunos centímetros, lo que lo hace muy adecuado para la mayoría de los propósitos de topografía y cartografía.

La medición con GNSS RTK consiste en colocar uno de los equipos, denominado **base** sobre un punto cuya posición (coordenadas) es conocida. Como la misma es un dato, el receptor base puede calcular los errores de medición y las correspondientes correcciones, las que luego se transmiten al otro equipo denominado **rover**, que se ubica sobre un punto de coordenadas desconocidas a determinar. Al recibir éste las mismas señales de los satélites y además las correcciones de la estación base, se encuentra en condiciones de calcular sus coordenadas en tiempo real.

Cuando se trabaja en RTK, la transmisión de las correcciones desde el equipo base hacia el rover se realiza mediante una conexión de radio UHF, cuyo alcance máximo varía entre los 5/10km, donde se puede considerar que los errores que afectan a los dos equipos son los mismos.

Campo de ensayo

La norma ISO 17123-8:2015 provee dos procedimientos, uno simple y otro completo. En ambos casos el ensayo de campo requiere de una base con dos puntos fijos sobre los que se posicionará el equipo rover, separados una distancia que puede variar dentro de un rango de 2 a 20 metros (figura 1).



1 punto rover 1;
2 punto rover 2;
3 punto base;
a distancia entre 1 y 2
b distancia entre base y rover.

Figura 1: Esquema del campo de ensayo.

Para los puntos 1 y 2, la distancia horizontal y la diferencia de altura calculadas a partir de las coordenadas en cada grupo de mediciones, deben ser comparadas con los respectivos valores nominales para asegurar que estén libres de errores groseros. Estos valores nominales se deben determinar por métodos cuya precisión sea mejor que 3mm, excluyendo a RTK, y se usan en el primer paso de ambos procedimientos de las pruebas.

En estos procedimientos, una sesión de mediciones consiste en cinco grupos. Cada grupo consiste en 2 mediciones, una en el punto 1 y la otra en el punto 2 de rover; en total, son 10 mediciones por sesión (figura 2).

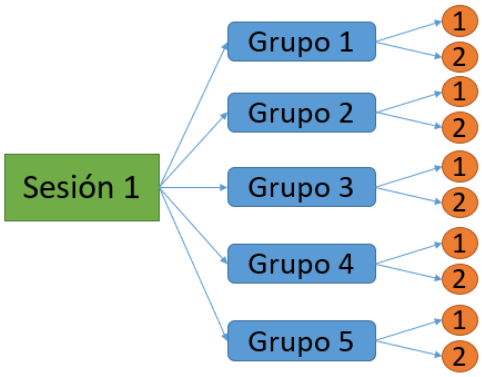


Figura 2: Una sesión de medición se conforma por 5 grupos, donde cada grupo consta de dos mediciones, una en el punto 1 y la otra en el punto 2.

Entre sucesivos grupos de mediciones debe existir un lapso de tiempo de 5 minutos. Por lo tanto, una sesión de medición tiene una duración de al menos 25 minutos. Además, el tiempo de inicio entre sesiones sucesivas debe ser de al menos 90 minutos. De este modo, se tienen en cuenta la influencia de los cambios en la configuración de los satélites y las variaciones en las condiciones ionosféricas y troposféricas.

Procedimiento de ensayo simple

Consiste en una única sesión de medición y permite determinar si un equipamiento es apto o no para realizar una tarea que requiere una determinada precisión. En este procedimiento se busca identificar la existencia de errores groseros, cuya presencia implicaría el descarte de las mediciones y la necesaria repetición del procedimiento. Si se rechaza nuevamente el procedimiento, se debe dudar del operador o de algún daño en el equipo.

Este procedimiento está basado en un limitado número de mediciones, por consiguiente, no se puede aplicar ningún análisis estadístico. Si se requiere una evaluación más precisa del equipamiento, es recomendable adoptar un procedimiento más riguroso, como el sugerido en el ensayo completo.

Procedimiento del ensayo completo

Este procedimiento requiere de tres sesiones de medición y permite obtener más información que el procedimiento simple sobre la precisión alcanzable con un equipo RTK. Como resultado de su aplicación, se obtienen los valores correspondientes a la desviación estándar experimental para una posición (x,y), así como la desviación estándar experimental para una altura (h) de un punto medido con el equipo ensayado. Una vez definidos estos parámetros, se realiza el test estadístico chi-cuadrado para verificar si la desviación estándar experimental es un estimador del desvío estándar de la población.

Trabajo de campo realizado

El campo de ensayo se configuró en AGGO (Observatorio Argentino Alemán de Geodesia), ubicado en el predio del IAR, en el Parque Pereyra Iraola (La ubicación de los puntos se aprecia en la figura 3).



Figura 3: Campo de ensayo en AGGO.

Los equipos ensayados fueron dos receptores gemelos, marca TOPCON, modelo Hiper V, uno configurado como base y otro como rover (figura 4).



(a) (b)

Figura 4: (a) Receptor base colocado sobre un punto de coordenadas conocidas (pilar). (b) Receptor rover sobre el punto 2 (trípode).

En lo que respecta al ensayo con los equipos, se colocó al receptor base en un pilar con coordenadas conocidas y se conformó una línea de base para el rover con dos trípodes (figura 5) y se realizaron las tres sesiones de medición como indica la norma. La duración total del ensayo fue de aproximadamente 4,5 hs.



Figura 5: Línea base, a la izquierda punto 2 y a la derecha el punto 1.

Para poder comparar las distancias y las diferencias de alturas obtenidas a partir de GNSS RTK con sus correspondientes valores nominales fue necesario utilizar trípodes con bases nivelantes con sistema de centrado forzoso, para asegurar la precisión exigida por la norma. A su vez, las coordenadas planas (x,y) obtenidas con GNSS RTK corresponden al sistema oficial argentino POSGAR 07 empleando la proyección Gauss-Krüger Faja 6, mientras que las alturas (h) son elipsoidales.

Los puntos rover 1 y 2 conforman una línea base de 19,039 m y el desnivel entre ambos es de 0,176 m. Las dos magnitudes anteriores, que constituyen los valores nominales, se calcularon a partir de un método elaborado por este grupo de trabajo que consiste en la utilización de estación total, realizando tres estaciones recíprocas y midiendo al prisma en las dos posiciones aplicando el método de doble lectura de Bessel. En total son 48 mediciones realizadas con el instrumento, lográndose una precisión de ± 1 mm en la determinación de cada una.

Con se ve en la figura 6, para el grupo 1 de la sesión 1 se calculan la distancia horizontal (D_j) y la diferencia de altura (Δh_j) entre los puntos rover 1 y 2. Esto se realiza para cada grupo de las tres sesiones. Posteriormente las distancias horizontales y las diferencias de alturas se contrastan con los valores nominales, para así detectar posibles errores groseros. Finalizadas y verificadas las tres sesiones, se pasa al cálculo estadístico y a la realización del test de hipótesis.

Secuencia Nro.	Sesión	Grupo	Punto Rover	Mediciones			Distancia Horizontal	Diferencia de altura
				x	y	h	D_j	Δh_j
1	1	1	1	6140851,301	6395787,390	16,901	19,044	-0,179
2	1	1	2	6140870,316	6395786,343	16,722		

Figura 6: Mediciones realizadas en los puntos rover 1 y 2 para grupo 1 de la sesión 1.

Resultados

Cumpliendo con el procedimiento completo, a partir de las coordenadas planas observadas de los puntos se calcula la desviación estándar experimental para una única posición denominada s_{xy} y la desviación estándar experimental para una única altura s_h. Estos resultados corresponden a las denominadas incertidumbres tipo A, para el caso del equipamiento ensayado:

$$s_{xy} = 4{,}0\ mm \qquad s_{xy} = 7{,}9\ mm$$

La norma ISO 17.123-8:2015 aplica el test de hipótesis chi-cuadrado (figura 7) que permite dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Es la desviación estándar experimental calculada a partir de las mediciones, menor o igual al valor de referencia (dado por el fabricante)?

Pregunta	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
a)	$s_{xy} \leq \sigma_{xy}$	$s_{xy} > \sigma_{xy}$
b)	$s_h \leq \sigma_h$	$s_h > \sigma_h$

Nivel de confianza: $1 - \alpha = 0{,}95$

Grados de libertad: $v_x + v_y = 56$

$v_h = 28$

$s_{xy} \leq \sigma_{xy} \times 1{,}15$

Datos experimentales:	
s_{xy} (mm) =	3,98
s_h (mm) =	7,88

$3{,}98\ \text{mm} \leq 10{,}00\ \text{mm} \times 1{,}15$

$3{,}98\ \text{mm} \leq 11{,}50\ \text{mm}$

VERDADERO

$s_h \leq \sigma_h \times 1{,}22$

Datos del fabricante:	
σ_{xy} (mm)=	10,00
σ_h (mm) =	15,00

$7{,}88\ \text{mm} \leq 15{,}00\ \text{mm} \times 1{,}22$

$7{,}88\ \text{mm} \leq 18{,}30\ \text{mm}$

VERDADERO

Figura 7: Test de hipótesis chi-cuadrado para la desviación estándar experimental.

Las desviaciones estándar experimentales para una posición (s_{xy}) y para una altura (s_h) superan el test estadístico.

Estas incertidumbres tipo A deben combinarse con las tipo B propuestas por la norma (figura 8).

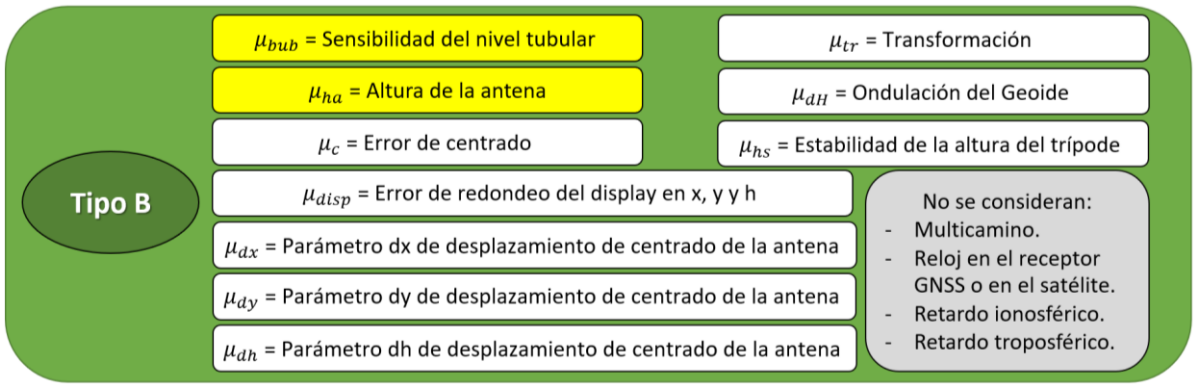


Figura 8: Incertidumbres tipo B consideradas.

Las ecuaciones aplicadas para obtener las incertidumbres combinadas para una posición (μ_{xy}) y una altura (μ_h) son:

$$\mu_{xy} = \sqrt{\mu^2_{ISO-GNSS-xy} + [h_a \times \tan(\mu_{bub})^2] + 2 \times \mu^2_{disp} + \mu^2_c + \mu^2_{dy} + \mu^2_{tr}}$$

$$\mu_h = \sqrt{\mu^2_{ISO-GNSS-h} + \mu^2_{disp} + \mu^2_{ha} + \mu^2_{hs} + \mu^2_{dh} + \mu^2_{dH}}$$

Finalmente, se calculan las incertidumbres expandidas (U_{xy} y U_h). Se utilizó, según lo expresado en la norma, un factor de cobertura de 2 para un nivel de confianza de 94,45%:

$$U_{xy} = 2 \times \mu_{xy} = 13\,mm \qquad U_h = 2 \times \mu_h = 17\,mm$$

Conclusiones

A raíz de este trabajo fue posible

1. **Aplicar exitosamente** la Norma ISO 17.123-8:2015 a un equipo GNSS RTK de uso común en Agrimensura.
2. Incorporar al gabinete una nueva **evaluación metrológica**, que se suma dentro del proyecto de calibración y verificación de instrumental Topogeodésico.
3. Satisfacer la **necesidad** de los **profesionales de la Agrimensura** en cuanto a la posibilidad de verificación de **instrumentos GNSS RTK**.
4. **Actualizan los contenidos** de distintas cátedras de la carrera de Ing. Agrimensor.

Finalmente destacamos que para este trabajo se siguió en todo momento el protocolo propuesto para Agrimensores por el Colegio Profesional de Agrimensura de la Provincia de Buenos Aires (C.P.A.) en el contexto de la pandemia, dado que se realizó en septiembre de 2020.



Bibliografía

- NORMA ISO 17.123 (2015). Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 8: GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK).
- NORMA ISO 17.123 (2010). Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 1: Theory.
- BERNÉ VALERO, José Luis (2014). GNSS. GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática. Valencia. Universitat Politècnica de València.
- GHILANI, Charles D. and WOLF, Paul R. (2006). Adjustment Computations: Spatial Data Analysis (4th ed.). United States of America. John Wiley & Sons, Inc.
- MONTGOMERY, Douglas C (2003). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería (2da ed.). México. LIMUSA, S.A.
- CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA (2012). Vocabulario Internacional de Metrología: Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM) (3ra ed.).
- TOPCON (2012). HiPer V Operator´s Manual.

Evaluación de Métodos de Regresión lineal en una red altimétrica topográfica

Justo, Claudio E.[a]; Calandra, María Valeria[b]

[a] Departamento Agrimensura, UIDET GAMEFI, Argentina.
[b] Departamento de Ciencias Básicas, UIDET GAMEFI,
[a,b] Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
Claudio.justo@ing.unlp.edu.ar. mava@mate.unlp.edu.ar.

Resumen

Este trabajo presenta la comparación de distintos métodos de ajuste para el análisis de observaciones realizadas en el relevamiento de una red altimétrica topográfica. Los métodos evaluados fueron el tradicional de Mínimos Cuadrados Ponderados, comparado con los resultados obtenidos mediante otros dos métodos alternativos de ajuste, siendo estos los Métodos de Regresión Robusta llamados M-Estimadores y MM-Estimadores. Se evaluó la incidencia de los valores atípicos con los tres métodos. Se encontró que el método tradicional presenta buenos resultados en el rango de los valores atípicos presentes. De acuerdo con la comparación de los resultados, puede considerarse a Mínimos Cuadrados Ponderados como confiable, en este caso, aunque los otros dos métodos podrían brindar información útil para el análisis de los resultados obtenidos.

Palabras clave*:* métodos de regresión, mínimos cuadrados, valores atípicos, residuos.

INTRODUCCIÓN

El ajuste de redes altimétricas topográficas es realizado en forma extendida mediante el método de Mínimos Cuadrados Ponderados (Justo, 2018). Para la ponderación a cada desnivel de una red altimétrica topográfica se le asigna para el ajuste un peso de 1/L donde L es la longitud del recorrido necesario para obtener cada medición. Los desniveles son las variables de respuestas y las variables predictoras son coeficientes -1, 0, 1 por tratarse de una red de Grafos. El modelo altimétrico topográfico, es válido para determinar las diferencias de alturas entre puntos y poder resolver la dirección del escurrimiento de fluidos en el entorno de obras a nivel municipal. En Geodesia al modelo topográfico se lo denomina Sistema de Alturas Geométricas. Para poder dejar establecidas las alturas de marcas físicas colocadas expresamente con ese propósito, y conocidas como ménsulas, es que se realizan mediciones de desniveles entre ellas. El desnivel entre dos ménsulas A y B se obtiene mediante la sumatoria de *n* desniveles individuales medidos a lo largo del itinerario que se requiere para llegar de una a otra. Estos desniveles obtenidos serán las observaciones que se someterán a un ajuste por Mínimos Cuadrados Ponderados para salvar la inconsistencia debida a los factores aleatorios que están siempre presentes en las mediciones. La estimación por MCP permite obtener indicadores de la calidad del trabajo realizado. Se presentan mediciones realizadas en el campus de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) donde existe una red altimétrica con ménsulas distribuidas en casi todos los edificios de las distintos Departamentos. (Figura 1). Las redes mencionadas comparten el mismo origen o datum en el Cero del Mareógrafo de la ciudad de Mar del Plata, Argentina. El análisis de regresión es una de las técnicas estadísticas más empleadas, dentro del mismo, el método de Mínimos Cuadrados clásico es considerado poco robusto cuando las observaciones no provienen de una distribución normal o hay observaciones atípicas. Los valores atípicos pueden ser causados por sucesos excepcionales o podrían ser los resultados de un factor



Figura 1. Esquema de la Red Altimétrica (Campus Facultad de Ingeniería, UNLP)

aún no considerado en un estudio. Incluso podría estar sucediendo algo sistemáticamente. Hay circunstancias en el que los datos pueden eliminarse de forma justificada, pero en general, dado que hay observaciones no necesariamente "malas", es razonable concluir que no deben descartarse. Para evaluar la respuesta ante esta situación se introduce una comparación con estimaciones hechas por dos métodos robustos. Para que un estimador de regresión sea robusto sea de utilidad práctica debe tener punto de ruptura y eficiencia asintótica relativa altos. El punto de ruptura es la mínima fracción de datos atípicos que puede causar que el estimador no se útil. Este valor se puede usar como una medida de la robustez del estimador. El punto de ruptura finito de los estimadores mínimos cuadráticos es 1/n, para una muestra de tamaño n, equivale a decir que una sola observación puede distorsionar el estimador. El punto de ruptura a veces es expresado en porcentaje en el caso de EMC el porcentaje es o%. Esto tiene un impacto potencialmente grave sobre su uso práctico. Cuando las observaciones provienen de una Distribución Normal y no hay observaciones atípicas es correcto, además de seguro, utilizar Estimadores Mínimo Cuadráticos (EMC). Además del punto de ruptura, para caracterizar a los estimadores robustos, se define la eficiencia asintótica de estos, como el cociente asintótico entre el cuadrado medio residual obtenido con los EMC y el cuadrado medio residual obtenido con el procedimiento robusto. Es deseable que esa medida de eficiencia se aproxime a 1.

DESARROLLO

El modelo lineal clásico relaciona las variables dependientes, o respuestas y_i , con las variables dependientes o explicativas $x_{i1}, x_{i2} \ldots\ldots x_{ip}$ para $i = 1,2 \ldots. n$, tal que:

$$y_i = x_i^t \beta + \varepsilon_i \quad i = 1,2 \ldots. n \text{ , con } x_i^t = (x_{i1}, x_{i2} \ldots\ldots x_{ip}) \quad \beta^t = (\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_p) \qquad (1)$$

ε_i es el término del error, una variable aleatoria perteneciente a una Distribución Normal con media 0 y varianza σ^2. Es necesario fijar $x_{i1} = 1$ para todo i para que el primer elemento de β corresponda al término independiente. En este caso trabajaremos sin el término independiente ya que se cuenta con la información del datum u origen de las referencias de alturas y que permite eliminar el déficit de rango que ocurriría de solo tener información relativa a las alturas de los desniveles puros El conjunto de todas las observaciones junto con los β lleva al modelo de Ecuaciones de Observación $Y = X.\beta + \varepsilon$ .Donde X es la matriz de *n x p* con elementos x_{ij}, el vector ε es un vector con elementos ε_i el vector Y con elementos y_i. Para ajustar ese modelo a los datos, se debe usar un estimador de regresión y luego estimar los parámetros desconocidos de β , que se denotan por $\hat{\beta}^t = (\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \ldots, \hat{\beta}_p)$. El valor ajustado de y_i es $\hat{y}_i = x_i^t \hat{\beta}$ y se puede usar este valor para calcular el residuo $i - ésimo\ r_i = y_i - \hat{y}_i$. En el método de Mínimos Cuadrados el valor $\hat{\beta}_{MC}$ resulta de minimizar la suma de los cuadrados de los residuos $\sum_{i=1}^{n} r_i^2$.Aunque el estimador de Mínimos Cuadrados (MC) es fácil de calcular, también es muy sensible a las desviaciones de los supuestos del modelo. Las observaciones que están alejadas de la mayoría de los datos pueden afectar drásticamente al resultado de la estimación, a estos valores se los llama atípicos (outliers). Un valor atípico en el caso de una regresión es un valor y_i que se aleja de la relación lineal seguida de la mayoría de los datos (valores atípicos verticales). Otro tipo de dato atípico, en las regresiones, es aquel que se aleja del conjunto de la mayoría de las variables explicativas del modelo (valores atípicos horizontales). Cabe recordar que las variables explicativas consisten de -1, 0 y 1 por tratarse del modelado de una red de Grafos (Strang y Borre, 1997) lo que nos previene de encontrarnos ante este tipo de valores atípicos salvando el caso de una equivocación. El objetivo principal de la estadística robusta es proveer métodos para el análisis de datos que sean confiables aún en la presencia de datos atípicos y que sean casi tan buenos como el estimador clásico óptimo de (MC) cuando no hay datos atípicos. La robustez de un estimador se mide por su estabilidad cuando una fracción pequeña de las observaciones es reemplazada de forma arbitraria por datos atípicos que pueden no cumplir con el modelo estadístico asumido. Un estimador robusto no debería verse mayormente afectado por una proporción pequeña de datos atípicos. Una medida cuantitativa de la robustez de un estimador, propuesta por Donoho y Huber (1983), es el punto de ruptura finito. El punto de ruptura finito de un

estimador es la máxima fracción de datos atípicos que el estimador puede tolerar sin verse completamente afectado. Es sabido que el estimador de MC tiene punto de ruptura infinito cero, esto es, una sola observación atípica puede arruinarlo completamente. Un método de estimación robusta en modelos lineales está dado por M-estimación. El concepto de un M-estimador para un modelo de regresión lineal fue introducido por Huber (1973). Un M-estimador de regresión de β se define como el $\hat{\beta}_M$, tal que minimiza:

$$\sum_{i=1}^{n} \rho\left(\frac{y_i - x_i^t \beta}{S}\right) \qquad (5)$$

Siendo $\rho(u)$ una función continua y, simétrica, llamada función objetivo, con un único mínimo en 0 (Andersen, 2008; Rousseeuw y Leroy, 1987). S es un estimador de escala de los residuos que puede ser estimado antes o en simultáneo. S podría ser la mediana del valor absoluto de los residuos de algún estimador de residuos inicial. No usar estimador de escala *S* en (5), es lo mismo que haciendo abuso de notación sustituir *S* por 1. El hecho de usar el estimador de escala es importante ya que el M-estimador, no es necesariamente invariante con respecto a cambios de escala (es decir, si se multiplicaran los errores $y_i - x_i^t \beta$ por una constante, la nueva solución de la ecuación podría no ser igual que la anterior). En realidad, los estimadores MC de regresión son un caso poco robusto de M-estimadores con función objetivo $\rho(u) = u^2$. La vulnerabilidad de MC proviene del mayor peso que se otorga a los valores extremos o atípicos por elevar al cuadrado los residuos a ser minimizados. En el caso de los M-estimadores de regresión propuestos por Huber (1973), la función objetivo se define de la siguiente manera:

$$\rho(u) = \begin{cases} \frac{1}{2}u^2, & |u| < a \\ \frac{1}{2}|u| - \frac{1}{2}a^2, & |u| \geq a \end{cases} \qquad (6)$$

La constante a es conocida como constante de ajuste, en el caso del presente trabajo $a = 1{,}345$ que corresponde a una propuesta de Huber (1973) con alta eficiencia asintótica, cercana a 0,95. El estimador M de Huber es robusto frente a valores extremos en la dirección de *Y* pero no es robusto frente a valores extremos en la dirección X. Cuando la varianza de los errores ε_i no es la misma para toda *i*, los estimadores M son más eficientes que el estimador MC ordinario. El estimador MM es un tipo especial de estimador M y fue propuesto por Yohai (1987). Los estimadores MM son considerados como una generalización de los estimadores M. Están basados en una función ρ_1 que determina las propiedades robustas del estimador (Stuart, 2011). En este caso ρ_1 , es una función acotada, no decreciente y simétrica alrededor del cero. Un MM-estimador de regresión de β se define como el $\hat{\beta}_{MM}$, tal que minimiza:

$$\sum_{i=1}^{n} \rho_1\left(\frac{y_i - x_i^t \beta}{\hat{\sigma}}\right) \qquad (7)$$

Donde $\hat{\sigma}$ es un S- estimador de escala robusto introducido por Rousseauw y Yohai (1984) (Maronna y otros, 2019; Montgomery y otros, 2006). En este trabajo usamos ρ_1 , la función *bicuadrada* que se define como:

$$\rho_1(u) = \begin{cases} 3\mu^2 - 3\mu^4 + \mu^6, & |\mu| \leq 1 \\ 1, & |\mu| > 1 \end{cases} \qquad (8)$$

Que de acuerdo con la terminología de Maronna y otros (2019) es una *ρ-función acotada*, lo que permitiría lidiar tanto con valores atípicos verticales como horizontales. En este caso, se puede alcanzar alta eficiencia asintótica y alto punto de ruptura.

MÍNIMOS CUADRADOS PONDERADOS

El modelo lineal clásico supone que ε_i, el término del error de (1), es una variable aleatoria, en nuestro caso de Distribución Normal con varianza σ^2 y media cero. La suposición de que la varianza de ε_i sea constante, no siempre se cumple, muchas veces la varianza de es de la forma $\sigma_i^2 = \frac{\sigma^2}{w_i}$ donde para cada i , w_i es un número positivo. El hecho de que la varianza de ε_i, sea constante es una suposición fuerte, en ese caso se dice que

el modelo es homocedástico, en caso contrario se dice que es heterocedástico. En este último caso se usa para subsanar tal situación, Mínimos Cuadrados Ponderados (MCP) para estimar β. Si se denota con $\hat{\beta}_{MCP}$ el estimador de β por MCP, entonces $\widehat{\beta}_{MCP}$ es el estimador que minimiza la suma de los cuadrados de los residuos ponderados:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i \left(y_i - x_i^t \beta\right)^2 \qquad (9)$$

El uso de la suma de cuadrados residual ponderada reconoce que algunos de los errores son más variables que otros, ya que los casos con grandes valores de w_i tendrán pequeñas varianzas y por lo tanto se les dará más peso en la suma de los cuadrados de los residuos (Weisberg, 2005). Es decir que MCP es útil en el caso presencia de heterocedasticidad. Además, el modelo de ajuste MCP se trata como el ajuste MC ordinario, si escribimos la ecuación (9) como:

$$\sum_{i=1}^{n} \left(\tilde{y}_i - \tilde{x}_i^t \beta\right)^2 \quad \text{Con } \tilde{y}_i = \sqrt{w_i}\, y_i \quad \text{y} \quad \tilde{x}_i^t = \sqrt{w_i}\, x_i^t \qquad (10)$$

En el caso del ajuste de las mediciones de una red altimétrica topográfica del modo convencional la varianza de ε_i es de la forma $\sigma_i^2 = \frac{\sigma^2}{w_i}$ con una ponderación $w_i = \frac{1}{L_i}$ donde L_i es la longitud del recorrido necesario para obtener cada medición. Por lo tanto, se aplica MCP para subsanar la heterosedasticidad. Pero con esto, no se resuelve la influencia de los valores atípicos si los hubiera. Con este ajuste buscaremos explicar las observaciones y_i con los valores de las cotas ajustadas $\hat{\beta}_{MCP}$ mediante la expresión (10).El valor de la varianza de y_i denotada por $Var(y_i)$ dependerá de la distancia que fue necesaria recorrer para su determinación y puede expresarse como la propagación de una varianza kilométrica y la cantidad de kilómetros recorridos para obtener y_i denotada por Q_i. (Ver Tabla1) $Var(y_i) = \sigma_{Km^2}^2\ Q_i$. La ponderación $w_i$se obtiene de la inversa de los cofactores Q_i de $Var(y_i)$. Estos cofactores se encuentran en la Tabla 1 columna 3. Los parámetros $\hat{\beta}_{MCP}$ del ajuste por MCP están en la Tabla 2.

MEDICIÓN Y AJUSTES

El levantamiento de las variables de respuesta, los desniveles, se realizó mediante el método de nivelación geométrica desde el medio (Wolf y Ghilani, 2006) con niveles automáticos de 28 aumentos. Los desniveles medidos pueden verse en la Tabla 1 columna 2. La red consta de 8 ménsulas como las de la figura 1 y se les ha otorgado la siguiente nomenclatura: Agrimensura Vieja (AV), Agrimensura Nueva (AV), Partenón (P), Química 1 (Q1), Química 2 (Q2), Hidráulica(H), Decanato (D), Construcciones (C) Estas ménsulas serán el soporte físico de las cotas de superficies equipotenciales cuyo valor será el resultado del ajuste de las observaciones de desnivel realizadas. Agrimensura Vieja (AV) sirvió para establecer el datum de referencia. En la Tabla 1, columna 1, se muestran los extremos de cada tramo medido. El vector β de 7x1 y que tiene las cotas a ajustar es: $\beta^t = (AN, Q_1, D, Q_2, H, P, C)$ La varianza de cada una las observaciones son directamente proporcionales al recorrido necesario para obtenerlas (Justo, 2018).

Observaciones	Valor	Distancia
AV-AN	2,046	0,14
AN-Q1	1,110	0,15
Q1-D	0,112	0,08
D-Q2	0,381	0,13
H-P	-1,615	0,20
Q2-C	-0,920	0.10
H-AN	0,166	0.10
Q1-C	-0,435	0.10
AV-P	0,267	0.20
H-C	0,842	0.15
AV-AN	-2,046	0,08
AN-Q1	-1,110	0,13
Q1-D	-0,111	0,08
D-Q2	-0,375	0,13
H-P	1,616	0,20
Q2-C	0,920	0.10
H-AN	-0,167	0.10
Q1-C	0,436	0.10
AV-P	-0,265	0.20
H-C	-0,842	0.15

Tabla 1. Observaciones Valor (m) con sus cofactores Distancia (km)

IDENTIFICACIÓN DE VALORES ATÍPICOS

Para identificar posibles valores atípicos en el ajuste se utilizaron los residuos: $r_i = y_i - \hat{y}_i$ Donde y_i son los desniveles medidos, e $\hat{y}_i$ son los valores ajustados de dichos desniveles por mínimos cuadrados pesados. También se calcularon los residuos estudentizados externos $t_{(i)}$ o residuos por el método Leave-One-Out (Maronna y otros, 2019) donde se

mide la influencia de un dato atípico y_i, en los residuos, eliminando dicha observación del modelo y se define el residuo leave-one–out $r_{(i)}$, calculando $\boldsymbol{r_{(i)} = y_i - \hat{y}_{(i)}}$. Donde $\hat{y}_{(i)}$ es el desnivel ajustado sin tener en cuenta el vector x_i y el valor medido y_i , es decir: $\hat{y}_{(i)} = x_i^t \hat{\beta}_{(i)}$ Se puede demostrar que $r_{(i)} = \frac{r_i}{1-v_{ii}}$. Donde v_{ii} son los elementos de la diagonal de la denominada *hat* matriz *H* definida como: $H = X(X^tX)^{-1}X^t$
Luego la versión estudentizada de $r_{(i)}$ resulta ser $t_{(i)} = \sqrt{1-v_{ii}}\,\frac{r_{(i)}}{S_{R(i)}} = \frac{r_i}{S_{R(i)}\sqrt{1-v_{ii}}}$ *i=1,…n*

Dónde r_i es el residuo de la observación i-ésima y $S^2_{R(i)}$ es la estimación de la varianza residual sin tener en cuenta la observación i-ésima en el modelo de regresión.

$$S^2_{R(i)} = \frac{(n-p)S_R^2 - r_i^2/\sqrt{1-v_{ii}}}{n-p-1}$$

Y $\boldsymbol{S_R^2}$ es la estimación de la varianza residual tomando todas las observaciones $\boldsymbol{S_R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} r_i^2}{n-p}}$
Bajo la hipótesis nula de que no existen atípicos, los residuos estudentizados $\boldsymbol{t_{(i)}}$tienen una ley *t de Student* con *n-p-1* grados de libertad. Luego tomamos $\boldsymbol{t_{Max} = \max_{1 \le i \le n} t_{(i)}}$. Para un nivel de significación $\boldsymbol{\alpha}$ diremos que la observación correspondiente al máximo residuo estudentizado es atípica si:$\boldsymbol{|t_{Max}| > t_{n-p-1}^{1-\frac{\alpha}{2}}}$ donde $\boldsymbol{t_{n-p-1}^{1-\alpha/2}}$ es el percentil $\boldsymbol{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)x100\%}$ de la distribución T de Student con *n-p-1* grados de libertad. Esta red resultó con una varianza del ajuste de $\boldsymbol{S_R^2} = 0{,}00002304\text{m}^2$ para un valor $\boldsymbol{\alpha = 0.05}$ el percentil $\boldsymbol{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)x100\%}$ de la distribución T de Student con *n-p-1=12* grados de libertad resultó ser $\boldsymbol{t_{n-p-1}^{1-\alpha/2} = 2,18}$ y $\boldsymbol{|t_{Max}| = 7,0212768}$ (Ver Tabla 2). Por lo tanto, se considera que es un valor atípico.

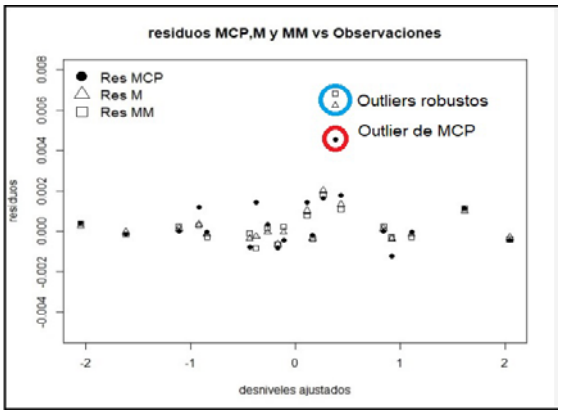


Figura 2. Gráfico de los Residuos vs. Desniveles Ajustados

DISCUSIÓN

Para aplicar los estimadores MCP, M y MM se empleó el paquete MASS (Venables y Ripley, 2002) En la Figura 2 se ve el gráfico de los residuos $r_i = y_i - \hat{y}_i$ correspondientes a los tres métodos versus los valores ajustados. Se puede apreciar que el ajuste por método de Mínimos Cuadrados Pesados es un poco más afectado (residuo MCP resaltado) ya que el residuo es más pequeño para este método que para los otros dos. En la Tabla 4 se pueden apreciar los valores de los residuos $r_i = y_i - \hat{y}_i$ para los tres métodos de ajuste y en la Tabla 3 los valores de los niveles ajustados (también para los tres métodos) en los que se observa una diferencia muy pequeña en algunos casos. En la Figura 2 se puede observar un gráfico de residuos versus los valores de los desniveles ajustados correspondientes a los tres métodos. También se resalta un residuo extremo para MCP en rojo y los residuos extremos de los dos métodos robustos resaltados en color celeste todos correspondientes a un mismo valor ajustado. En el gráfico, el residuo correspondiente a dicho valor es menor para MCP que en los métodos robustos (marcados en color celeste). Esto es debido a que el valor atípico distorsiona o corre el ajuste de regresión por MCP en su dirección. El procedimiento robusto tiende a dejar grandes los residuales asociados con valores atípicos, facilitando así la identificación. El procedimiento de estimación robusto produce, en este caso, casi los mismos valores ajustados de los parámetros obtenidos por el método MCP ya que los residuos tienen distribución Normal, y los valores atípicos no son significativos.

CONCLUSIONES

Consideramos oportuna la comparación entre los estimadores de MCP, los M y MM dada la posibilidad computacional actual con software como el R.

Agregar esta comparación a los ajustes realizados por MCP otorgará más herramientas de análisis. Los métodos de regresión robusta ofrecen una gran ayuda para ver si los valores atípicos representan valores influyentes. En este caso la diferencia entre los tres métodos no fue significativa, lo que nos permitió confirmar la adecuación de MCP. El método MCP nos permitió lidiar con la heterocedasticidad. Sin embargo, si hubiesen diferido, se deberían identificar las razones de tales diferencias. La estimación M introducida por Huber (1973) es un enfoque más simple que el ajuste MM. Aunque no es robusto a los puntos influyentes es decir en observaciones atípicas en la dirección de *X* ,pero en nuestro estudio, ese tipo de datos atípicos no se encuentran. El método MCP nos permitió lidiar con la heterocedasticidad, como así también los métodos robustos.

DH medido	DH ajustado MCP	r_i	$t_{(i)}$
2,046	2,046423	-0,0004231	-0,2946033
1,110	1,1100164	-0,0000164	-0,0103331
0,112	0,1105502	0,0014498	1,4412095
0,381	0,3764464	0,0045536	7,0212768
-1,615	-1,6148721	-0,0001279	-0,0699119
-0,920	-0,9212172	0,0012172	1,0040679
0,166	0,1661877	-0,0001877	-0,1433856
-0,435	-0,4342206	-0,0007794	-0,5861182
0,267	0,265363	0,0016367	0,9170405
0,842	0,8419835	0,0000165	0,0103408
-2,046	-2,046423	0,0004231	0,2946033
-1,110	-1,1100164	0,0000164	0,0103331
-0,111	-0,1105502	-0,0004498	-0,4158049
-0,375	-0,3764464	0,0014464	1,0294347
1,616	1,6148721	0,0011279	0,6262164
0,920	0,9212172	-0,0012172	-1,0040679
-0,167	-0,1661877	-0,0008123	-0,6300562
0,436	0,4342206	0,0017794	1,4269477
-0,265	-0,265363	0,0003633	0,1971074
-0,842	-0,8419835	-0,0000165	-0,0103408

Tabla 2. Observaciones, residuos brutos y estudentizados externos.

Ménsulas	MCP	M	MM
AN	17.960423	17.960300	17.960000
Q1	19.070440	19.070400	19.070000
D	19.180990	19.181400	19.175000
Q2	19.557436	19.556100	19.556000
H	17.794235	17.793900	17.794000
P	16.179363	16.179000	16.181000
C	18.636219	18.635800	18.636000

Tabla 3. Resultados de los coeficientes por los tres métodos de ajuste

Observacion	MCP	M	MM
AV-AN	-0.0004	-0.0004	-0.0004
AN-Q1	0.0000	-0.0002	-0.0003
Q1-D	0.0014	0.0010	0.0008
D-Q2	0.0046	0.0062	0.0068
H-P	-0.0001	0.0000	-0.0001
Q2-C	0.0012	0.0004	0.0003
H-AN	-0.0002	-0.0004	-0.0004
Q1-C	-0.0008	-0.0004	-0.0001
AV-P	0.0016	0.0020	0.0018
H-C	0.0000	0.0002	0.0003
AV-AN	0.0004	0.0003	0.0004
AN-Q1	0.0000	0.0002	0.0004
Q1-D	-0.0004	0.0000	0.0002
D-Q2	0.0014	-0.0002	-0.0008
H-P	0.0011	0.0010	0.0011
Q2-C	-0.0012	-0.0004	-0.0003
H-AN	-0.0008	-0.0006	-0.0006
Q1-C	0.0018	0.0014	0.0011
AV-P	0.0004	0.0000	0.00018
H-C	0.0000	-0.0002	-0.0003

Tabla 4. Residuos para cada observación según el método de ajuste

REFERENCIAS

Andersen, R. (2008). *Modern Methods for Robust Regression*. Thousand Oaks: SAGE Publications.

Donoho, D.L. y Huber, P.J. (1983). The notion of breakdown point. In “A Festschrift for Erich

Lehmann” (P.J. Bickel, K. Doksum and J.L. Hodges, Jr., Eds.), Wadsworth, Belmont, CA, 157–184.

Huber, P.J. (1973). Robust regression: asymptotics, conjectures and Monte Carlo. *Annals of Statistics* 1, 799-821.

Justo C. (2018) Tratamiento Estadístico de una Red Altimétrica Topográfica. Tesis de Maestría en Ingeniería UNLP. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/65539

Maronna R.A., Douglas M.R., Yohai V.J. y Salibián-Barrera M.S. (2019). *Robust Statistics: Theory and Methods (with R)*. 2nd Edition, Wiley.

Montgomery, D.C., Pek, E.A. y Vining, G.G. (2006). *Introducción al Análisis de Regresión Lineal*. 3ª. Edición, Ed. Compañía Editorial Continental, México.

Rousseeuw, P.J. y Leroy A.M. (1987). *Robust Regression and Outlier Detection*. Hoboken, Wiley. DOI:10.1002/0471725382.

Rousseeuw P. y Yohai V. (1984) Robust Regression by Means of S-Estimators. En: Franke J., Härdle W., Martin D. (eds) *Robust and Nonlinear Time Series Analysis. Lecture Notes in Statistics*, vol 26. Springer, New York, NY.

Stuart, C.A. (2011). Robust Regression. Recuperado de: https://www.semanticscholar.org/paper/Robust-Regression-Stuart/f50f6e74b773ba0b89df34744523bd7c6b148125

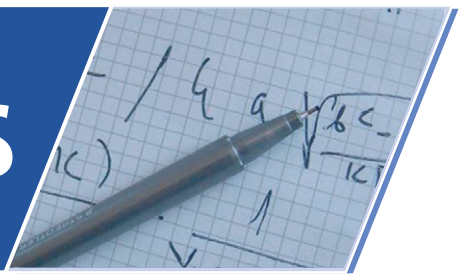
Venables, W.N. y Ripley, B.D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*, Fourth edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0,

Weisberg, S. (2005) *Applied linear regression* 3rd Ed John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, USA.

Wolf, P. y Ghilani, C. (2006). *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*, Fourth Edition. Wiley.

Yohai, V. (1987). High Breakdown-Point and High Efficiency Robust Estimates for Regression. The Annals of Statistics, 15(2), 642-656.

CIENCIAS BÁSICAS



LABORATORIO DE FÍSICA I EN LA VIRTUALIDAD

Devece Eugenio [1,2], *Mizrahi Martín* [2,4], *Vilche Ernesto A* [2], *Fernández Lobo Gonzalo M. J.* [2,3]

(1) UIDET IMApEC, Dpto. de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (FI UNLP), **(2)** Cátedra Física I - FI UNLP, **(3)** Alumno - FI UNLP, **(4)** INIFTA, diag. 113 y 64 S/N, La Plata.
eugenio.devece@ing.unlp.edu.ar

Resumen:

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), la materia Física I se dicta integrando teoría, práctica y laboratorio. Los laboratorios son una parte esencial en el proceso de aprendizaje de los contenidos, y por lo tanto deben ser adaptados a las situaciones que nos atañen, actualmente, la virtualidad. Por lo general, los alumnos suelen tener dificultades para relacionar la teoría y la práctica con la realidad cotidiana. Una de las principales razones para esto es que la teoría pareciera a veces estar alejada de la realidad, y que los conceptos dados no son realmente aplicables. Por este motivo, se ha decidido a pesar de las dificultades que impone la no presencialidad, continuar realizando algunos laboratorios los cuales han sido adaptados para ser llevados a cabo con materiales de fácil acceso, como es el caso de la experiencia de la Ley de Hooke que se describe en este trabajo. El mismo consiste en crear un dispositivo empleando bandas elásticas, elásticos o resortes, y que los estudiantes realicen una serie de mediciones con el fin de determinar la constante elástica del material, así como estudiar el comportamiento del mismo en distintas configuraciones (serie y paralelo). Dicha tarea fue realizada por grupos de estudiantes de la cátedra durante el 2do semestre de 2020 habiéndose obtenido una muy buena recepción por parte de los mismos, además de resultados acordes con los vistos en la teoría. En particular, en este artículo se presenta el trabajo y resultados obtenidos por uno de los grupos el cual a modo de experiencia piloto fue evaluado por competencias.

Esta experiencia fue realizada utilizando las estrategias de aprendizaje basado en el problema y un proceso de evaluación por competencias, adaptado a la virtualidad, lo cual se explica a lo largo del artículo. También se citan en las referencias los autores en los cuales se basa el marco teórico. En el trabajo se describe la experiencia que realizaron los estudiantes. Finalmente, se analiza el proceso, los resultados y su impacto en el aprendizaje.

Palabras Clave: Ley de Hooke, Laboratorio, Aprendizaje Basado en Problemas, Enseñanza por Competencias, Virtualidad.

1. Introducción

La Cátedra Física 1 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (FI UNLP), dicta contenidos de mecánica clásica, ondas, fluidodinámica y termodinámica. En el contexto del ASPO/DISPO, los laboratorios que antes eran realizados en forma presencial, debieron ser llevados a cabo en el hogar. Este cambio implica que se pueda garantizar el acceso de todos los estudiantes a los elementos que fueran a ser utilizados, y para ello se recurrió al empleo de elementos del entorno hogareño. La experiencia descripta en este trabajo implica la determinación experimental de la constante de elasticidad de un material determinado y a elección, y empleando dos configuraciones distintas, una en serie, y otra en paralelo. Para realizar la experiencia, el plantel docente decidió realizar un enfoque de aprendizaje basado en el problema [1] y un proceso de evaluación por competencias [2].

Actualmente la homologación de los métodos de enseñanza en las Universidades es evaluada por algunos organismos Nacionales que acreditan la calidad educativa impartida.

Esto incluye la revisión de los contenidos y metodologías, reforzando la adquisición de competencias afines a la profesión de Ingeniería, así como aquellas referidas a su vinculación con la sociedad. En el área de Física se trabaja con el propósito de fortalecer la formación experimental en los estudiantes [3] y las experiencias de laboratorio constituyen un medio adecuado para ejercitar habilidades tales como procesos de medida, interpretación de resultados, análisis de incertezas, obtención de conclusiones, , elaboración de informes, reforzar los conceptos expuestos en la teoría, y manejo de la comunicación oral y escrita.

Finalmente, debe entenderse que una evaluación basada en un enfoque por competencias, es una innovación, al menos en cuanto a lo que se entiende por ella desde la UNESCO [4]. Es importante destacar que se parte de una dificultad general por parte de los alumnos, por ello el adecuado aprendizaje de un concepto apoyado en ejercitación y experimentación, así como en la correcta formalización de un informe técnico/científico, son un complemento significativo que conduce al estudiante no sólo a obtener un aprendizaje crítico y duradero, sino que además contribuye en enseñarles a pensar, lo cual debe formar parte de cualquier buen proceso de aprendizaje.

1.1. Elasticidad

Se define elasticidad, como una propiedad intrínseca de los materiales en estado sólido, que le permite volver a su forma original, al dejar de actuar una fuerza deformante sobre el mismo.

En la experiencia propuesta, se analiza la elasticidad en una dirección dada de un material. La ley que rige tal deformación es la siguiente

$$\vec{F} = k * \Delta\vec{x}$$

Dónde:

$\vec{F}$ Es la fuerza aplicada.

k Es la constante de elasticidad del material.

$\Delta\vec{x}$ Es la deformación del material, en la dirección en que es aplicada la fuerza.

La experiencia consta de tres etapas, una primera etapa, en la que se determina la constante de elasticidad de dos elementos por separado, una segunda, en la que se determina la constante de elasticidad de un sistema en serie de los elementos, y una tercera, donde se determina la constante de elasticidad de un sistema en paralelo de los mismos.

2. Desarrollo y discusión

2.1. Descripción de la experiencia

A continuación, se detalla el desarrollo de la experiencia. Los estudiantes contaban con el material de la guía de laboratorio donde se describía el objetivo, materiales, montaje y metodología a emplear para llevarlo a cabo (https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/F0303/). Durante todo el proceso de realización del Laboratorio el acompañamiento a los estudiantes fue constante. Los estudiantes disponían de varios medios de contacto con el equipo docente, y de esta manera, se solventaba una de las dificultades que presenta la virtualidad, pudiendo los grupos concretar la tarea, junto con los respectivos informes, al cabo de dos semanas.

Los elementos utilizados fueron los siguientes: resortes o banda elástica, monedas o pesas pequeñas, regla milimetrada, clip sujetapapeles, caja pequeña y soporte.

Inicialmente, los grupos, debían preparar el soporte en el cual, colocarían el material elástico para posteriormente realizar las medidas. Sobre el montaje del mismo, no surgieron dificultades, y en general, el desenvolvimiento, fue satisfactorio, como era de esperar.

Luego, los estudiantes se encontraron con la dificultad de encontrar un objeto que sirva de sostén para las masas que debieran ser colgadas (de manera que actúen como fuerza deformante sobre el elemento elástico), y que el mismo, no modificará las medidas a realizar. Al consultar con los docentes, estos indicaron que no se requería una masa que no deforme el material, sino que lo deforme poco, un material, cuya masa, en comparación con las demás a utilizar, fuese prácticamente despreciable. Con esto, muchos grupos optaron por utilizar canastas de papel caseras, o pequeñas cajas, como las que se muestran en la Figura 1. Otra alternativa propuesta, fue que la caja que se colgase, tuviese un peso conocido, y que la propia caja fuera la causante de la primera deformación del material elástico.



Figura 1, Descripción gráfica de los sistemas armados por los estudiantes. De izquierda a derecha: configuración de banda elástica simple, dos bandas en serie y dos bandas en paralelo.

Luego de esto, se debían incorporar los pesos de a uno, y llevar a cabo ciertas anotaciones, como lo son la elongación experimentada por el resorte/banda elástica, tales que permitieran, concluidas las medidas, realizar una discusión de los resultados obtenidos, y llegar a las respectivas conclusiones de la experiencia. Aquí, es importante destacar la importancia del análisis de los resultados obtenidos, ya que en algunos casos, los estudiantes percibieron medidas erróneas cuando se encontraban determinando los resultados finales, y estos no tenían un sentido Físico. Casos de este estilo, fueron aquellos en los que la constante del sistema en paralelo fue menor que el sistema unitario, también, aquellos, en los que no se percibía un comportamiento asintótico en la constante de elasticidad. Dependiendo de la gravedad de los errores, y de algunos factores determinantes, el docente optó en la mayoría de los casos, a solicitar que se rehagan las mediciones. Hubo casos en que se había estropeado el material utilizado, superando los límites de elasticidad del mismo, fue en estos casos, en los que se solicitó al estudiante, que en su conclusión, fuese determinante acerca de los errores que existieron y que condujeron a obtener tales resultados. Esto demuestra que a pesar de la experiencia no haber sido realizada de la forma correcta, aún puede ser útil para mostrar a los estudiantes dónde se cometieron los errores y cómo estos afectan al resultado final obtenido.

Agrupados los resultados de las mediciones y de los cálculos, en una tabla, se solicitó a un grupo en particular, que se realicen gráficos que permitan mostrar una tendencia del comportamiento del material elástico ante los distintos pesos a los que fue sometido. A modo de ejemplo, se muestran los resultados obtenidos y presentados para la constante elástica del material individual. Dicho grupo, en un principio, realizó el gráfico de la Figura 2, donde, si bien se puede notar la dependencia lineal entre la fuerza aplicada y la deformación producida,

y, por lo tanto, que el valor de la constante elástica tiene un valor prácticamente constante (pendiente de la recta), no se llega a cuantificar este valor claramente de dicha figura.

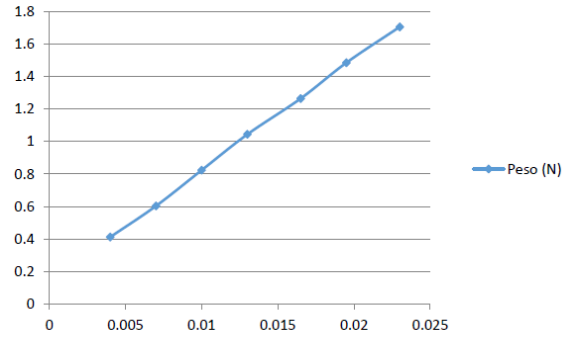


Figura 2, Primer gráfico realizado por los alumnos. Peso en las ordenadas, vs deformación en las abscisas.

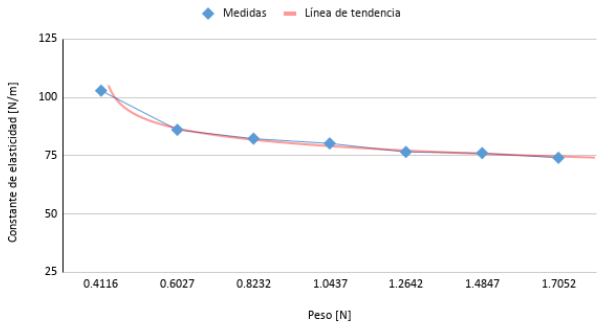


Figura 3, Segundo gráfico realizado por los alumnos. Constante de Elasticidad en Función del Peso Aplicado.

Como puede observarse, este gráfico presenta ciertas falencias, lógicas en cualquiera que experimente por primera vez con la presentación de datos en forma gráfica mediante el uso de planillas de cálculo. Luego de las indicaciones de los docentes, los alumnos realizaron un nuevo gráfico que permitía asumir una tendencia en el comportamiento de la constante elástica, de manera más práctica, como puede observarse en la Figura 3.

Bajo esta nueva óptica, los estudiantes pudieron apreciar y presentar los resultados mostrando el comportamiento asintótico de la constante elástica con el peso agregado, e incluso, seguir la línea de tendencia. Con esto, los estudiantes pudieron conocer distintos tipos de aproximaciones que se pueden utilizar para analizar el comportamiento de un material, interpretar el por qué existe esta primera región donde el comportamiento no es lineal, y por consiguiente mejorar la calidad de su trabajo y conclusiones. Como es de esperar, aquí fue donde los estudiantes pudieron obtener un mayor fruto, ya que con esto, ellos podían reforzar la comprensión del fenómeno de elasticidad, y acerca del comportamiento de distintos sistemas. Esto no es poco, ya que ese tipo de comportamientos no sólo están presentes en medios elásticos, sino que dan lugar a discutir las analogías que se pueden encontrar en la teoría básica de los circuitos eléctricos, conceptos que se trabajarán en materias posteriores. En los distintos cursos de matemáticas que realizará el estudiante, se le enseñarán distintas herramientas para procesar datos obtenidos durante la realización de diferentes ensayos, esto permitirá diversas maneras de aproximar y de realizar las líneas de tendencia de la evolución de un determinado parámetro.

Por todo esto, se considera que la realización de este tipo de Laboratorios es fundamental para que el estudiante consolide los conceptos de la teoría, desarrolle habilidades manuales, aprenda el proceso de “medir”, sea capaz de expresar en forma escrita, con un lenguaje adecuado, los resultados obtenidos con su interpretación, y posibles causas para que los mismos se aparten del comportamiento esperado teóricamente. Finalmente, esta clase de Laboratorio brinda un panorama más amplio mostrando que este tipo de dependencias funcionales no sólo están presentes en los materiales elásticos y pueden ser encontradas en otros sistemas Físicos.

2.2. Evaluación

Uno de los aspectos más importantes para el alumnado al cursar una asignatura, es la evaluación de la misma. Nosotros creemos, que si bien, es una instancia importante, esta jamás podría demostrar de manera eficaz, todo lo aprendido por el estudiante. En este

sentido, el análisis por competencias, nos permite acercarnos bastante, al ideal evaluativo, donde se pueden afirmar bajo ciertos estándares de seguridad, las capacidades y aptitudes que permiten caracterizar al estudiante, mediante algunos indicadores [5].

Valorar los resultados de un curso implica evaluar tanto el proceso de enseñanza como el de aprendizaje, es decir, evaluar la didáctica desarrollada por los docentes, así como los aprendizajes efectivos de los alumnos. Estas cuestiones en general, son valoradas en función de las tasas de aprobación y encuestas a los estudiantes. En un enfoque por competencias, se puede ampliar esta metodología, mediante una "matriz de valoración", que permite clasificar los desempeños del alumno en distintas áreas, de esta manera, se evalúa no sólo el desempeño y aprendizaje del estudiante, sino que también simultáneamente se determinan las fallas que existieron desde el Plantel Docente. De esta forma se logra una mejora continua en nuestra labor. "La innovación es un proceso que lleva tiempo y que nunca está totalmente acabado, ya que la escuela es un sistema vivo y cambiante" [4].

2.3. Evaluación bajo un enfoque por Competencias

La evaluación bajo un enfoque centrado en las competencias para este trabajo de Laboratorio, se realizó, en función de distintos parámetros, que pueden observarse en la Tabla 1. Dentro de estos parámetros se evaluó la participación que presentó cada estudiante en los distintos medios de comunicación que fueron utilizados por el grupo, (las mismas, debían ser adjuntadas en los informes, como material complementario).

Calificacion grupal. Grupo :			
Desempeño en	Buena	Media	Mala
Escritura	Sin faltas de ortografía. Claros en las explicaciones. Sin información repetida	Con faltas de ortografía, no son suficientemente claros, o repiten información	Con faltas de ortografía, no son suficientemente claros, y repiten información
Trabajo grupal	Trabajo colaborativo. Participación de todos en cada parte del trabajo.	Trabajo colaborativo. Participación a medias en cada parte. Se dividieron las partes por persona.	trabajo no colaborativo. Todo recayó sobre un integrante, o hubo poca interacción.
Claridad en la conclusión	Claro y consiso	Claro, pero no muy consiso, explican cosas que deberían incorporarse en otros espacios	No concluyen, o no se entiende
Exposición oral grupal	Se percibe un trabajo conjunto. Todos entienden y comprenden lo realizado en cada etapa.	Se percibe que alguno de ellos tuvo una posición de liderazgo. Todos comprenden lo realizado en cada etapa, y pueden sacar sus conclusiones de los resultados.	Se percibe posición de liderazgo, y poco conocimiento por parte del conjunto de los integrantes.
Utilización de medios virtuales	Frecuente y equilibrada a nivel grupal	Poco frecuente, se nota preponderancia en la comunicación desde algunos de los integrantes	Pocos dias de trabajo, y no hay sustento de trabajo grupal
Calculos y manejo de unidades	Los cálculos estan explicitados, se observa claramente de donde sale cada una de las cuentas, y trabajan adecuadamente con las unidades	Los cálculos estan parcialmente explicitados, se observan errores minimos en las unidades	Los cálculos no son explicados, y presentan errores graves en las unidades,
Calificación individual. Alumno :			
Desempeño en	Buena	Media	Mala
Individual	Participación acorde	Participación parcial	Sin participación
Exposición oral	Buen conocimiento de los temas, y claro desarrollo de lo realizado	Conocimiento parcial de lo realizado, buen desempeño de los conceptos teóricos.	Poco conocimiento de lo realizado, y de los sustentos teóricos del laboratorio.
Participación Individual	Activa	Poco activa	No participa

Tabla 1

Entre las herramientas tecnológicas utilizadas por los estudiantes, se destacan los grupos de Whatsapp, y el trabajo sobre archivos compartidos subidos a la nube, permitiendo al docente, observar además de la participación en las charlas, las modificaciones realizadas por cada participante en los distintos archivos compartidos. Finalmente, se realizó un coloquio oral final que permitía definir si el trabajo fue colaborativo, grupal, un "equipo de trabajo" con tareas definidas para cada integrante o un grupo de trabajo en que no todos los estudiantes participaron por igual.

Debe tenerse en cuenta que mientras los ítems referidos al desempeño grupal, engloba lo realizado y presentado por el grupo, los referidos a cada individuo, son individuales, y se realizaron tantos como participantes hubiera en el grupo.

3. Conclusiones y trabajos futuros

Bajo nuestra condición humana, jamás carecemos de defectos, sin embargo, se busca reducir los mismos. Creemos que el desarrollo de estos laboratorios en principio, es un buen acercamiento para el estudiante y en la experiencia esto se ha visto confirmado, aquellos que participaron activamente, han adquirido conocimientos en los temas trabajados durante los laboratorios de forma más precisa y asentada, y a su vez se puede presumir, que aquellos contenidos con los que estos están ligados, serán más sencillamente adquiridos y aprendidos. A futuro se pretende analizar el aprendizaje adquirido por el alumno, desde una postura estudiantil, mediante una encuesta en la que el estudiante deba dar una opinión sobre él mismo, es decir sobre su propio desempeño. También, se planea realizar este estudio, de manera más amplia y duradera, realizando dos laboratorios, uno por módulo, para así poder comparar en uno el aprendizaje, y en otro la habilidad desarrollada para la realización de los informes, y la adquisición de conocimientos, así como el concepto aprendido para formalizar las conclusiones.

"El ingeniero no sólo debe saber, sino también saber hacer. El saber hacer no surge de la mera adquisición de conocimientos, sino que es el resultado de la puesta en funciones de una compleja estructura de conocimientos, habilidades, destrezas, etc. que requiere ser reconocida expresamente en el proceso de aprendizaje para que la propuesta pedagógica incluya actividades que permitan su desarrollo" [6]. Bajo este principio, es que se intentará generar en los estudiantes, habilidades centradas en la investigación y la puesta en práctica.

4. Referencias y bibliografía

[1] Calderón Salas, M. (2011). Aprendizaje Basado en Problemas. Resumen. Disponible en: De la Orden, A. (2011). Reflexiones en torno a las competencias como objeto de evaluación en el ámbito educativo. Revista Electrónica de Investigación Educativa, vol. 13, nº 2, pp. 1-21.

[2] Valverde Berrocoso, J.; Revuelta Domínguez, F.; Fernández Sánchez, M. (2012) Modelos de evaluación por competencias a través de un sistema de gestión de aprendizaje. Experiencias en la formación inicial del profesorado. *Revista Iberoamericana de Educación*. Nº 60, pp. 51-62 (1022-6508) - OEI/CAEU.

[3] Pesa, M., Bravo, S. y Pérez, S. (2012). La importancia de las actividades de laboratorio en la formación de ingenieros. Memorias del Décimo Primer Simposio de Investigación en Educación en Física. pp. 61-69 Sief XI Esquel, Argentina.

[4] UNESCO, «Serie "Herramientas de apoyo para el trabajo docente", Texto 1: Innovación Educativa,» Lima, 2016.

[5] Moreno Yalet N. y Devece E. (Mayo de 2020). "Experiencia de dilatación lineal", Conferencia presentada en la VII Jornada Nacional y III Latinoamericana de Ingreso y Permanencia en Carreras Científico - Tecnológicas. Edición Virtual.

[6] Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) (2018). Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina. Universidad FASTA.

BASE SPLINE WAVELET CON DERIVADA ORTOGONAL APLICADA A LA RESOLUCIÓN NUMÉRICA DE ECUACIONES DIFENCIALES

Calderón Lucila [†‡], Martín María T.[‡] y Vampa Victoria[†]

[†]*IUDET Matemática Aplicada, Departamento de Ciencias Básicas, Fac. de Ingeniería , Universidad Nacional de La Plata. Calle 1 y 47 La plata (1900), lucila.calderon@ing.unlp.edu.ar*
[‡]*Departamento de Matemática, Fac. Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.*

Resumen: En los últimos años los métodos wavelet-Galerkin se han utilizado con éxito en la resolución numérica ecuaciones diferenciales y conducen a resolver sistemas de ecuaciones lineales. Para obtener matrices ralas y con buen condicionamiento, la elección de la base wavelet es muy importante. En este trabajo proponemos una base B-spline wavelet con derivada ortogonal que generan un Análisis Multirresolución (AMR) sobre el intervalo. La base está formada por wavelets interiores que se obtienen de las traslaciones y dilataciones de una wavelet madre que satisface condiciones de ortogonalidad; y se definen wavelets de borde especiales. Para diferentes niveles de resolución, las derivadas de las funciones de la base son ortogonales. Se obtienen matrices ralas y diagonales por bloques, con número de condición uniformemente acotado. Para mostrar estas propiedades presentamos dos ejemplos numéricos.

Palabras clave: *B-spline, ortogonalidad, wavelets.*

1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades de las bases wavelets son bien conocidas y han dado lugar a los métodos wavelet-Galerkin. A partir de la formulación variacional se obtiene un sistema de ecuaciones lineales. A fin de garantizar eficiencia en los cálculos y elevada precisión en las aproximaciones, es importante que la matriz asociada al sistema, conocida como matriz de rigidez, sea rala o esparcida con número de condición pequeño. Con lo cual, la elección de la base wavelet a utilizar y los requerimientos sobre la misma, son importantes para determinar las bondades del método.
Existen varias construcciones recientes de bases spline sobre el intervalo, por ejemplo Prims [1], Černá *y col.* [2] construyeron bases spline wavelet biortogonales, Jia *y col.* [3] propusieron bases multiwavelets de Hermite adaptadas al intervalo $[0,1]$ con derivada ortogonal. Combinando enfoques presentados por Jia *y col.* [3] y Černá *y col.* [2] definiremos una base spline wavelet con derivada ortogonal a partir de la función de escala B-spline cúbica.

2. ANÁLISIS MULTIRRESOLUCIÓN B-SPLINE

Un Análisis Multirresolución (AMR) es una sucesión de subespacios encajados $\left\{V_j^{[0,1]}\right\}_j$ que satisfacen determinadas condiciones. En este trabajo consideramos la estructura AMR sobre $L_2[0,1]$ que generan los espacios B-splines cúbicos definidos en [2] y [4]. Una base para estos subespacios $V_j^{[0,1]}$, $j \geq 1$, es

$$\Phi_j = \Phi_j^{int} \cup \Phi_j^{bord}, \tag{1}$$

donde

$$\Phi_j^{int} = \left\{ \varphi_{j,k}(x) = 2^{j/2}\, \varphi(2^j x - k + 3),\ k = 3, 4, ..., 2^j - 1 \right\}. \tag{2}$$

es el conjunto de ***funciones de escala interiores***, que son traslaciones de la función φ (B- spline cúbica); y

$$\Phi_j^{bord} = \left\{ \varphi_{j,1}, \varphi_{j,2}, \varphi_{j,2^j}, \varphi_{j,2^j+1} \right\} \tag{3}$$

es el conjunto de ***funciones de escala de borde***, con

$$\varphi_{j,1}(x) = 2^{j/2}\, \varphi_{b_1}(2^j x), \qquad \varphi_{j,2}(x) = 2^{j/2}\, \varphi_{b_2}(2^j x), \tag{4}$$

$$\varphi_{j,2^j}(x) = 2^{j/2}\, \varphi_{b_2}(2^j (1-x)), \quad \varphi_{j,2^j+1}(x) = 2^{j/2}\, \varphi_{b_1}(2^j (1-x)), \tag{5}$$

donde φ_{b_1} y φ_{b_2} son funciones de borde definidas en [5].
Las funciones $\varphi_{j,k}$ esta normalizadas por $\| \varphi'_{j,k} \|_{L_2[0,1]} = 1$.

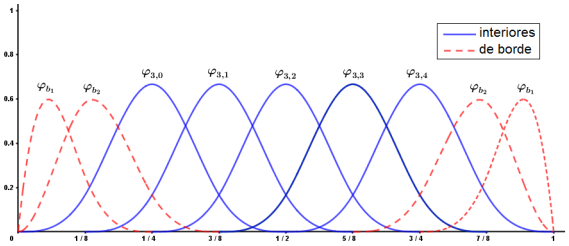


Fig 1: Funciones de la base del subespacio B-spline cúbico V_3.

La dimensión de $V_j^{[0,1]}$ es $2^j + 1$. En la Fig.(1) se muestran las funciones de la base de V_j para $j = 3$.

La colección de los subespacios B-splines cúbicos $\left\{V_j^{[0,1]}\right\}$ del AMR en $L_2[0,1]$ [1], implica la existencia de subpespacios wavelet $W_j^{[0,1]}$ tales que,

$$V_{j+1}^{[0,1]} = V_j^{[0,1]} \oplus W_j^{[0,1]}, \qquad j \geq 1. \tag{6}$$

De aquí se deduce que la dimensión de $W_j^{[0,1]}$ es 2^j.
En la siguiente sección, se construye una base wavelet para los subespacios $W_j^{[0,1]}$ con una condición de ortogonalidad sobre las derivadas.

3. Base spline wavelet con derivada ortogonal

Para obtener una base para $W_j^{[0,1]}$, se definen wavelets interiores y wavelets de borde. Las wavelets interiores son traslaciones de una wavelet madre ψ propuesta en el trabajo [4], cuya expresión es

$$\psi(x) = \sum_{k=0}^{6} d_k \, \varphi(2x - k), \quad x \in \mathbb{R}. \tag{7}$$

con $[d_0, d_1, ..., d_6] = [1, -28, 119, -184, 119, -28, 1]$ y que satisface la condición de ortogonalidad

$$\langle \psi'(x), \varphi'(x - l) \rangle = 0, \quad \forall l \in \mathbb{Z}. \tag{8}$$

El conjunto de ***wavelets interiores*** es,

$$\Psi_j^{int} = \left\{ \psi_{j,k}(x) := \frac{2^{-j/2}}{\| \psi'_{j,k} \|} \psi(2^j x - k + 3), \; k = 3, 4, ..., 2^j - 2 \right\}. \tag{9}$$

Para las wavelets de borde se definen $\psi_{b_1}^{lc}$, $\psi_{b_2}^{lc} \in W_0^{[0,1]} \subset V_1^{[0,1]}$, entonces se pueden escribir combinación lineal de traslaciones y dilataciones adecuadas de φ, φ_{b_1} y φ_{b_2} definidas como funciones de borde en la Sección 2:

$$\begin{aligned} \psi_{b_1}^{lc}(x) &= a_0 \varphi_{b_1}(2\,x) + a_1 \varphi_{b_2}(2\,x) + \sum_{k=2}^{4} a_k \, \varphi(2\,x - k + 2), \\ \psi_{b_2}^{lc}(x) &= \widetilde{a}_0 \varphi_{b_1}(2\,x) + \widetilde{a}_1 \varphi_{b_2}(2\,x) + \sum_{k=2}^{6} \widetilde{a}_k \, \varphi(2\,x - k + 2). \end{aligned}$$

Imponemos dos condiciones para obtener los coeficientes de $\psi_{b_1}^{lc}$ y $\psi_{b_2}^{lc}$,

1. $\psi_{b_1}^{lc}$ y $\psi_{b_2}^{lc}$ satisfacen

$$\int_{\mathbb{R}} \psi_{b_1}^{lc}(x)\, dx = 0, \qquad \int_{\mathbb{R}} \psi_{b_2}^{lc}(x)\, dx = 0. \tag{10}$$

2. $\psi_{b_1}^{lc}$ y $\psi_{b_2}^{lc}$ satisfacen la condición de ortogonalidad de las derivadas Ec.(8),

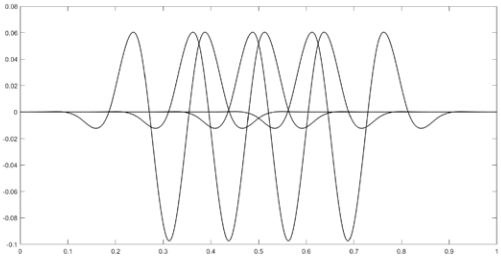
$$\left\langle {\psi'_{b_1}}^{lc}(x), \varphi'(x-l) \right\rangle = 0, \quad \forall l \in \mathbb{Z}. \tag{11}$$

$$\left\langle {\psi'_{b_2}}^{lc}(x), \varphi'(x-l) \right\rangle = 0, \quad \forall l \in \mathbb{Z}. \tag{12}$$

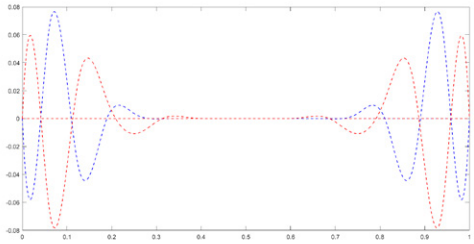
Para obtener los coeficientes a_k y $\widetilde{a_k}$, se resuelve el sistema de ecuaciones que generan las condiciones 1 y 2. Así,

$$\begin{aligned} [a_0, a_1, ..., a_4] &= \left[\frac{-286}{49}, \frac{117}{14}, \frac{-1691}{392}, 1, \frac{-1}{28}\right], \\ [\widetilde{a_0}, \widetilde{a_1}, ..., \widetilde{a_6}] &= \left[\frac{3999}{121}, \frac{-2236}{49}, \frac{5837}{295}, 1, \frac{397}{98}, 1, \frac{-1}{28}\right]. \end{aligned}$$

$\psi_{b_1}^{lc}$ y $\psi_{b_2}^{lc}$ tienen soporte en $[0, 3]$ y $[0, 4]$, respectivamente y satisfacen la condición de ortogonalidad Ec.(8).



(a) Wavelets interiores:



(b) Wavelets de borde: $\psi_{b_1}^{lc}$ (azul), $\psi_{b_2}^{lc}$ (rojo).

Fig 2: Base de $W_3^{[0,1]}$.

A partir de estas funciones se define conjunto de ***wavelets de borde***

$$\Psi_j^{lc} = \left\{ \psi_{j,1}, \psi_{j,2}, \psi_{j,2^j-1}, \psi_{j,2^j} \right\}, \tag{13}$$

$$\begin{aligned} \psi_{j,1}(x) &= \frac{2^{-j/2}}{\| {\psi'_{b_1}}^{lc} \|} \psi_{b_1}^{lc}(2^j x), \qquad \psi_{j,2}(x) = \frac{2^{-j/2}}{\| {\psi'_{b_2}}^{lc} \|} \psi_{b_2}^{lc}(2^j x), \\ \psi_{j,2^j-1}(x) &= \frac{2^{-j/2}}{\| {\psi'_{b_2}}^{lc} \|} \psi_{b_2}^{lc}(2^j(1-x)), \quad \psi_{j,2^j}(x) = \frac{2^{-j/2}}{\| {\psi'_{b_1}}^{lc} \|} \psi_{b_1}^{lc}(2^j(1-x)). \end{aligned}$$

Se define el subespacio wavelet $W_j^{[0,1]} = gen\, \Psi_j$, $j \geq 1$, donde

$$\Psi_j = \Psi_j^{int} \cup \Psi_j^{lc}. \tag{14}$$

En la Fig. (2) se muestran las funciones de la base de $W_j^{[0,1]}$ para $j = 3$.

Teniendo en cuenta Ec.(6), $V_{j+1}^{[0,1]}$ es suma directa de $V_j^{[0,1]}$ y $W_j^{[0,1]}$, con lo cual,

$$V_{j+1}^{[0,1]} = V_{j_0}^{[0,1]} \oplus W_{j_0}^{[0,1]} \oplus W_{j_0+1}^{[0,1]} ... \oplus W_j^{[0,1]}, \quad \text{para } j_0 \geq 3. \tag{15}$$

Definición 1 *Dado $j_0 \geq 3$ y $J \geq j_0$, a partir de la descomposición dada en Ec.(15), una* ***base wavelet con derivada ortogonal para los subespacios*** $V_{J+1}^{[0,1]}$ ***es,***

$$\Psi_{j_0}^J = \Phi_{j_0} \cup \bigcup_{j=j_0}^{J} \Psi_j = \left\{ g_1, g_2, ..., g_{2^{J+1}+1} \right\}, \qquad \textit{donde}, \tag{16}$$

- $g_l = \varphi_{j_0,l}$, *para* $l = 1, 2, ..., 2^{j_0} + 1$
- $g_{2^j+1+l} = \psi_{j,l}$, *para* $l = 1, 2, ..., 2^j$, $j = j_0..., J$

Utilizando la condición de ortogonalidad Ec.(8) se demuestra la siguiente propiedad.

Proposición 1 *Si $\varphi_{j_0,k} \in V_{j_0}^{[0,1]}$, $\psi_{j,k} \in W_j^{[0,1]}$ con $j \geq j_0$, se tiene que:*

$$\langle \psi'_{j,k}, \varphi'_{j_0,k} \rangle = 0, \tag{17}$$

$$\langle \psi'_{j_1,k}, \psi'_{j_2,\tilde{k}} \rangle = 0, \qquad j_1 \neq j_2. \tag{18}$$

4. Aplicaciones y resultados numéricos

Se considera un problema de segundo orden con coeficientes p y q constantes y condiciones de Dirichlet homogéneas,

$$\begin{aligned} L\,u(x) = -\frac{d}{dx}\left(p(x)\frac{d\,u}{dx}\right) + q(x)\,u(x) &= f(x) \quad x \in (0,1), \\ u(0) = u(1) &= 0. \end{aligned} \tag{19}$$

A partir de la formulación variacional del problema y tomando como subespacios de aproximación a los subespacios $V_{J+1}^{[0,1]}$ definidos en la Sección anterior, se aplica el método de Wavelet-Galerkin para obtener una solución aproximada

$$u_{J+1} = \sum_{i=1}^{2^{J+1}+1} \alpha_i\, g_i \tag{20}$$

donde $g_i \in \Psi_{j_0}^J$ base spline wavelet de $V_{J+1}^{[0,1]}$, definida en Ec.(16).

Sustituyendo u_{J+1} en la la forma débil, se tiene el problema en forma matricial

$$\mathbf{K}_J\, \alpha = \mathbf{b},$$

siendo $\mathbf{b} = \langle f, g_i \rangle_{1 \leq l \leq 2^{J+1}+1}$ el vector del término independiente, K_J la matriz de rigidez del sistema,

$$\mathbf{K}_J := p\, \left\langle g'_i, g'_l \right\rangle_{1 \leq i,l \leq 2^{J+1}+1} + q\, \left\langle g_i, g_l \right\rangle_{1 \leq i,l \leq 2^{J+1}+1}, \tag{21}$$

y $\alpha = (\alpha_i)_{1 \leq i \leq 2^{J+1}+1}$ el vector de $2^{J+1}+1$ incógnitas. La dimensión de la matriz K_J es $N_J = (2^{J+1}+1)$.

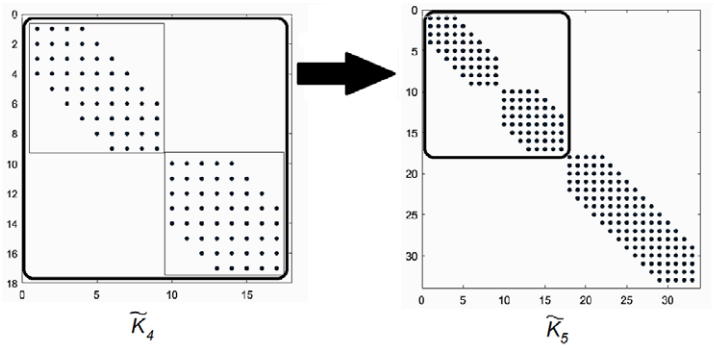


Fig 3: Estructura de la matriz $\widetilde{K}_J$ del Ejemplo (1).

K_J es matriz rala, simétrica y definida positiva. Además el número de condición de la matriz K_J, en norma 2, que está dado por $cond(K_J) = \dfrac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}}$ está uniformemente acotado.

En los siguientes ejemplos, se analizaron los errores relativos de las aproximaciones , utilizando la seminorma en L_2 , $\|v\|_{L_2} = \left(\sum_{k=0}^{2^j} |v\left(k/2^j\right)|^2\right)^{1/2}$. Sea u la solución exacta y u_J la solución numérica con una escala de nivel J.

- El error relativo de la aproximación se calcula $e(J) := \dfrac{\|u - u_{J+1}\|_{L_2}}{\|u\|_{L_2}}$ para $J \geq 0$.
- El error relativo interior denotado por $e_{I'}(J)$, donde se calcula el error relativo en un intervalo $I' = (0+\epsilon, 1-\epsilon)$ con $\epsilon > 0$.

Ejemplo 1 *Sean $p = 1$ y $q = 0$ en Ec.(19),*

$$\begin{aligned} L\,u(x) = -u''(x) &= f(x), \\ u(0) = u(1) &= 0, \end{aligned}$$

donde $f(x) = (70\,\pi)^2\,\sin(70\,\pi\,x) - \pi^2\,\cos\left(\pi\,x + \dfrac{\pi}{2}\right)$. *La solución exacta de esta ecuación diferencial es* $u(x) = \sin(70\,\pi\,x) - \cos\left(\pi\,x + \dfrac{\pi}{2}\right)$.

Como consecuencia de la condición de ortogonalidad requerida (8), la matriz $\widetilde{\mathbf{K}}_J := \langle g_i', g_l' \rangle_{1 \leq i,l \leq 2^{J+1}+1}$ es rala, diagonal por bloques y cada bloque es una matriz banda (Fig. 3). Esta estructura es muy conveniente para la resolución del sistema planteado, porque cada bloque puede tratarse por separado, resolviendo cada subsistema. Además $\widetilde{K_J}$ está bien condicionada ya que su número de condición se mantiene acotado al aumentar la escala J (ver Tabla 1).

J	N_J	$cond(K_J)$	$e(J)^{lc}$	$e(J)^{C}$	$e_{I'}(J)^{lc}$	$e_{I'}(J)^{C}$
5	65	219	$6.140e{-1}$	$6.140e{-1}$	$5.864e{-1}$	$5.535e{-1}$
6	129	219	$1.434e{-2}$	$1.632e{-2}$	$1.223e{-2}$	$1.287e{-2}$
7	257	219	$4.703e{-4}$	$8.234e{-3}$	$3.995e{-4}$	$5.146e{-4}$
8	513	219	$3.975e{-5}$	$8.224e{-3}$	$1.979e{-5}$	$3.021e{-4}$
9	1025	219	$3.208e{-5}$	$8.224e{-3}$	$1.183e{-6}$	$3.014e{-4}$
10	4097	219	$3.202e{-5}$	$8.224e{-3}$	$2.997e{-7}$	$3.013e{-4}$

Tabla 1: Resultados del Ejemplo (1).

En la Tabla (1) se muestran que los errores relativos obtenidos utilizando la base propuesta en este trabajo (denotado por $e(J)^{lc}$ y $e_{I'}(J)^{lc}$) son mejores que los obtenidos con la base propuesta en [5] ($e(J)^{C}$ y $e_{I'}(J)^{C}$).

Ejemplo 2 *Si* $p = 1, q = 1$ *en Ec.(19),*

$$\begin{aligned} L\,u = -u''(x) + u(x) &= \left((53.7\pi)^2 + 1\right) \operatorname{sen}(53.7\pi\, x) + \left((2{,}3\pi)^2 + 1\right) \operatorname{sen}(2.3\pi\, x), \\ u(0) &= u(1) = 0, \end{aligned}$$

con solución exacta, $u(x) = \operatorname{sen}(53.7\,\pi\, x) + \operatorname{sen}(2.3\,\pi\, x)$.

J	N_J	$cond(K_J)$	$e(J)$	$e_{I'}(J)$
6	129	503	$3.637e{-3}$	$3.506e{-3}$
7	257	503	$1.486e{-4}$	$1.423e{-4}$
8	513	503	$1.454e{-5}$	$1.064e{-5}$
9	1025	503	$1.206e{-5}$	$7.198e{-6}$
10	4097	503	$1.200e{-5}$	$7.168e{-6}$

Tabla 2: Resultados del Ejemplo (2).

La matriz correspondiente a este problema $K_J = D_J + G_J$, donde

$$D_J = \langle g_i', g_l' \rangle_{1 \le i,l \le 2^{J+1}+1} \qquad G_J = \langle g_i, g_l \rangle_{1 \le i,l \le 2^{J+1}+1}$$

sigue siendo una matriz rala y por bloques debido a la propiedades ortogonalidad de la derivadas y semiortogonalidad de las funciones de escala B-splines cúbicas.

En la Tabla (2) se muestran los errores relativos y se observa que el número de condición de K_J está uniformemente acotado.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una construcción de una base wavelet con caraterísticas especificas de ortogonalidad. Estas bases presentan muy buenas propiedades: la matriz de rigidez involucrada es diagonal por bloques, su número de condición se mantiene acotado al aumentar la escala. Con esta propuesta se obtuvieron muy buenos resultados de convergencia a la solución.

Referencias

[1] M. Primbs, *New stable biorthogonal spline wavelets on the interval*, Result. Math 57, (2010), pp. 121-162.

[2] D. Černá and V. Finěk, *Wavelet basis of cubic splines on the hypercube satisfying homogeneous boundary conditions*, Int. J. Wavelets Multiresolut. Inf. Process. 13(3), (2015), article No. 1550014.

[3] R.Q. Jia and S.T. Liu, *Wavelet bases of Hermite cubic splines on the interval*, Adv. Comput. Math. 25, (2006), pp. 23–39.

[4] L.Calderón, M.T. Martín and v. Vampa *Wavelet B-Splines Bases on the Interval for Solving Boundary Value Problems*. Applications of Wavelet Multiresolution Analysis, Applications of Wavelet Multiresolution Analysis. SEMA SIMAI Springer Series, vol 4. (2021), pp. 23–40.

[5] L.Calderón, M.T. Martín y v. Vampa *Bases de wavelets B-splines en el intervalo con condiciones de Dirichlet homogéneas*. V Jornadas de Investigación,Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería, La Plata, (2019), pp. 235–240.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE RECURSOS DIDÁCTICOS PARA EL APRENDIZAJE DE LA MATEMÁTICA EN CASA

Del Río, Laura S.
Unidad de Investigación, Extensión y Transferencia Investigación en Metodologías alternativas para la Enseñanza de las Ciencias - UIDET IMApEC, Dpto. de Cs. Básicas Facultad de Ingeniería, UNLP – Avenida 1 y calle 47, La Plata (1900), Buenos Aires, Argentina
laura.delrio@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: aprendizaje de la matemática – recursos didácticos digitales – juegos educativos – evaluación formativa – GeoGebra

Introducción

En este trabajo se presentan algunos de los recursos didácticos digitales que se diseñaron e implementaron en cursos de Matemática A y Matemática B en 2020, algunos concebidos especialmente para apoyar el estudio de los alumnos en forma autónoma desde sus hogares y otros pensados para fomentar el trabajo en equipo a pesar de la distancia física.

Dentro de las líneas de investigación llevadas a cabo en el marco de la UIDET IMApEC, hace ya varios años que se viene trabajando en el desarrollo de diversos recursos didácticos digitales para la enseñanza de las Ciencias Básicas en la Facultad de Ingeniería de la UNLP, pero estos eran pensados principalmente para el trabajo en clase presencial, promoviendo discusiones entre estudiantes y docentes. En esta oportunidad, han debido idearse nuevas dinámicas para el trabajo a distancia, que promuevan una mayor autonomía en los estudiantes, que fomenten el trabajo en equipo y que motiven al alumnado a continuar sus estudios, pese a las dificultades impuestas por la pandemia.

Un aspecto que se observó con atención para el desarrollo de estos materiales fue la retroalimentación que estos debían proporcionar. En las clases presenciales, es posible interactuar con los recursos para luego debatir y obtener conclusiones. En clases remotas, si bien esto es posible, se torna más complicado. Es por ello que para construir la retroalimentación brindada, se tomaron a modo de orientación, los principios de la evaluación formativa mencionados por Juwah *et al.* (2004), según los cuales este tipo de evaluación debe:

1. Facilitar el desarrollo de la autoevaluación (reflexión) en el aprendizaje.
2. Alentar el diálogo entre docentes y pares.
3. Ayudar a comprender qué es una buena performance (metas, criterios, estándares esperados).
4. Proveer oportunidades para achicar la brecha entre el desempeño actual y el deseado.
5. Proporcionar información de alta calidad a los estudiantes acerca de su aprendizaje.
6. Fomentar una motivación y una autoestima positiva.
7. Proveer información a los docentes que puede ser útil para moldear o adecuar la enseñanza.

En particular, en relación al último punto, resultó de gran utilidad la incorporación en el segundo semestre de 2020 de la herramienta GeoGebra Classroom (Zöchbauer & Hohenwarter, 2019), que permite el monitoreo en tiempo real y también en diferido de las actividades de los estudiantes. Gracias a esto se han podido colectar con facilidad las respuestas de los estudiantes a ciertas tareas para identificar los puntos débiles tanto a nivel individual como grupal, para así planificar las remediaciones que fueran necesarias.

Desarrollo

La creación y validación de recursos didácticos digitales ha sido históricamente una de las líneas de investigación de la UIDET IMApEC y, en particular, de la autora del presente trabajo. Se han desarrollado numerosos materiales para su utilización en la clase presencial, con distintas características y diversos focos, por ejemplo: materiales para el trabajo de unidades completas (Del Río, Sanz, Búcari, 2019); recursos para el abordaje de temas puntuales utilizando tecnologías móviles (Bayés, Del Río, Costa, Manceñido, 2019), o computadoras (Del Río, 2017); y estrategias didácticas involucrando distintos tipos de software (Del Río, Berini, Manceñido, 2017; Del Río, Knopoff, 2020).

Toda la experiencia adquirida, tanto en el ámbito de la docencia, como en la investigación y la extensión, ha servido como andamiaje para el desarrollo de materiales pensados especialmente para apoyar a los alumnos en el estudio de la matemática en sus casas durante la pandemia de COVID-19.

A continuación se presentan ejemplos de los materiales creados para su utilización en el contexto de la pandemia, explicitando y justificando sus características distintivas, con el fin de difundir la labor realizada y promover la utilización de los recursos implementados por parte de otros docentes. Para ello, se organiza el resto de esta sección en tres sub-secciones: I) materiales interactivos, II) recursos autocorregibles con pistas y III) juegos.

I) Materiales interactivos

Muchos de estos materiales habían sido creados para su utilización en las clases presenciales a fin de favorecer la visualización de conceptos y la exploración por parte de los estudiantes mediante la manipulación de las representaciones digitales de los objetos matemáticos. Normalmente se acompañan con preguntas que dirigen la observación de los alumnos hacia aspectos que se consideran relevantes y se utiliza lo trabajado como disparador del debate en el aula.

En la primera etapa de la virtualización de los cursos, dada la urgencia coyuntural, se adaptaron algunos de estos materiales incorporando indicaciones más explícitas, debido a la imposibilidad de discutirlas cara a cara con los estudiantes, y más preguntas sobre lo observado durante la interacción con el material. Además, se aprovechó la conexión existente entre el software libre GeoGebra y el entorno virtual de enseñanza y aprendizaje Google Classroom para acceder con facilidad a los trabajos realizados por los estudiantes y a las respuestas construidas por ellos. Asimismo, dichos trabajos se tomaron como puntapié para discusiones matemáticas en el marco de las clases sincrónicas, atendiendo a los ítems 2 y 7 de los principios de la evaluación formativa indicados en la introducción.

II) Recursos autocorregibles con pistas

Se trata de recursos en los cuales se propone un ejercicio o una situación problemática a los estudiantes y ellos deben ingresar una respuesta. La aplicación indica si esta es correcta o no, y en caso de no serlo, se indica por qué no lo es y se brinda una pista para que puedan volver a intentarlo. De esta forma se abordan los ítems 1, 3, 4, 5 y 6 de los principios de la evaluación formativa indicados en la introducción de este trabajo.

Por ejemplo, en la Figura 1 se muestran capturas de pantalla de un recurso para practicar el método de integración por sustitución. Los alumnos tienen tres oportunidades para responder correctamente. Si lo desean, pueden abrir una pista, proporcionándoles “oportunidades para achicar la brecha entre el desempeño actual y el deseado” (Juwah, 2004). Si optan por responder y lo hacen mal, la pista se abre automáticamente. Este

recurso se encuentra disponible en el siguiente enlace: https://www.geogebra.org/m/hpr4mxpx.

El segundo ejemplo es una aplicación en la cual los estudiantes tienen que proponer una parametrización para una curva presentada como intersección de dos superficies, como se muestra en la Figura 2. Un punto de color rosa se mueve de acuerdo a la parametrización introducida dejando un trazo como se ve en la figura. Esto ofrece a los estudiantes una comprobación visual de su respuesta. En caso de ser incorrecta, se le indica al estudiante el porqué: el punto no está en la intersección, o la curva se recorre más de una vez o no llega a recorrerla por completo, proveyendo información relevante para progresar. Este recurso se encuentra disponible en https://www.geogebra.org/m/nkp8nxes.

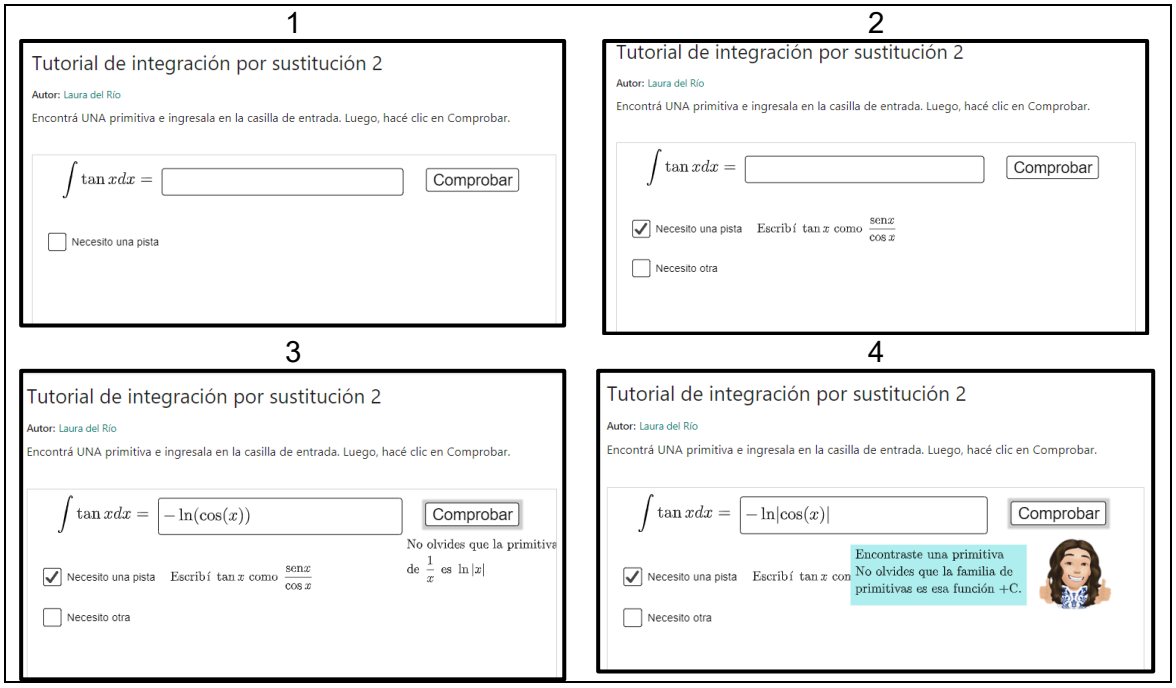


Figura 1: Capturas de pantalla correspondientes a una aplicación que se diseñó para ayudar a los estudiantes a comprender el método de integración por sustitución.

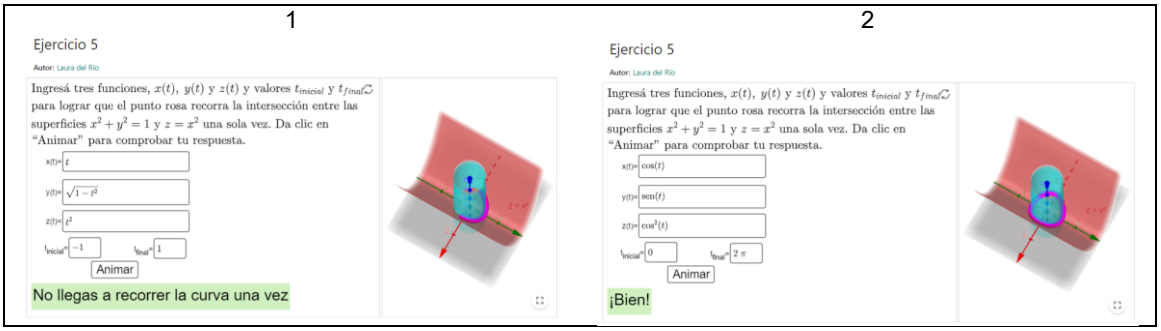


Figura 2: Capturas de pantalla correspondientes a una aplicación para practicar parametrización de curvas y corroborar las respuestas.

III) Juegos

Se han utilizado distintos juegos para motivar a los estudiantes a la vez que ponían en práctica determinados saberes matemáticos. Uno de ellos fue una adaptación del juego Pac Man (Brzezinski, 2000), en la cual se debe ingresar un vector en tres dimensiones para guiar a Pac Man hasta la comida. En la figura 3, se puede observar la interfaz del juego. En este

caso, la retroalimentación se vincula con el logro del objetivo: o bien Pac Man llega a la comida y se cumple el objetivo, lo cual implica que se ingresó el vector correcto, o llega a un punto diferente y no se cumple el objetivo, con lo cual el alumno debe revisar sus cálculos o el concepto de vector que haya construido hasta el momento. Este juego se puede encontrar en https://www.geogebra.org/m/nfmntacr.

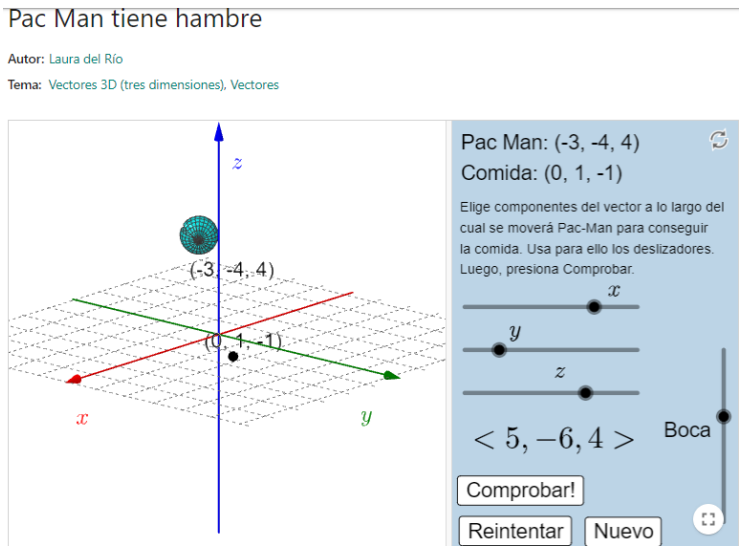


Figura 3: Interfaz del juego de Pac Man para practicar vectores.

Otros juegos fueron utilizados para promover la conformación y consolidación de equipos de trabajo, además del abordaje de temas específicos de la materia. Como ejemplo, se mencionan un par de juegos de 'Brazo robótico', adaptados de la propuesta de Homa (2019), en los cuales deben convertir las coordenadas de un punto de rectangulares a polares y viceversa para conseguir que un brazo robótico virtual recoja unas bolas.

Se invitó a los alumnos reunirse en grupos por videoconferencia. Cada grupo eligió un integrante como encargado de operar el juego y compartir pantalla para que los demás puedan ayudar con las respuestas. Como motivación, antes de comenzar se mostraron a los alumnos unos videos de distintos tipos de brazos robóticos y luego se los invitó a jugar a recoger bolitas utilizando las aplicaciones dentro del sistema GeoGebra Classroom. Se les dio 15 minutos para jugar con cada aplicación y se declaró ganadores a los equipos que sumaron mayor cantidad de puntos en cada una. Con estos juegos se pudo practicar la transformación de coordenadas polares a rectangulares y viceversa de un modo ameno. La retroalimentación es similar al caso del Pac Man: si el brazo robótico logra alcanzar la bola, significa que se comprendió cómo pasar de un sistema coordenado al otro y si no, se requiere una revisión. Se incorporaron mensajes de retroalimentación especiales en los casos en los que el error cometido esté únicamente relacionado al cuadrante, que es uno de los errores más comunes, a fin de recordar a los estudiantes la importancia de prestar atención a esta cuestión (ver Figura 4). Tanto los videos motivadores como los juegos pueden verse en el siguiente enlace: https://www.geogebra.org/m/bbkupbxq.

En ambos juegos, la retroalimentación resulta más significativa que la que puede brindar un docente en un ejercicio tradicional, ya que, en caso de resolver incorrectamente, no se le dice al alumno que su respuesta está mal, sino que simplemente hay algo que no funciona como es esperado, imponiendo la necesidad de revisar por qué falla y obteniendo pistas que conducen a corregir los errores cometidos.

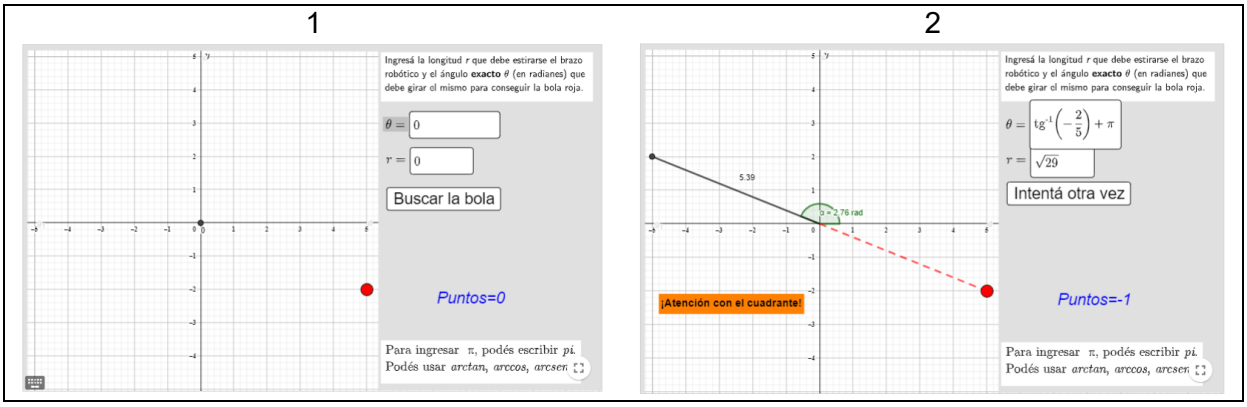


Figura 4: Interfaz del juego de brazo robótico y retroalimentación para el caso de error en el cuadrante.

Conclusiones

En este trabajo se han compartido algunos de los recursos didácticos digitales que se han construido y utilizado para acompañar a los estudiantes en el estudio de la matemática en casa durante la pandemia de COVID-19.

Se hizo especial hincapié en la construcción de una evaluación formativa basada en una retroalimentación que ayude a los estudiantes a saber si comprendieron o no cierto tema y, en caso de no haberlo hecho (o al menos no por completo), saber por qué y obtener pistas sobre cómo remediar la situación. Asimismo, la posibilidad de acceder a las producciones de los alumnos con facilidad, contribuyó con la tarea del diseño de intervenciones docentes, supliendo, parcialmente, la posibilidad que tenemos en el aula física de interactuar con los cuadernos de los estudiantes para realizar un seguimiento continuo.

Si bien no se realizó aún un estudio detallado y sistemático del efecto de estos recursos en el aula virtual, se puede mencionar que los estudiantes manifestaron gran interés por los mismos, participaron activamente y ha servido para identificar dificultades y trabajarlas en los encuentros sincrónicos.

En relación a los juegos, la participación fue muy buena, con gran compromiso por parte de los alumnos, quienes demostraron tener espíritu competitivo, discutiendo a través del aula virtual por los puntajes obtenidos y acusándose mutuamente de fraude a modo de broma y en tono jocoso, lo cual indica que han disfrutado de las actividades y esto, teniendo en cuenta el difícil contexto de la pandemia, no es un dato menor.

Gracias a haber realizado varias de estas actividades utilizando el sistema GeoGebra Classroom, se han podido guardar numerosos datos que permitirán a lo largo de este año estudiar en mayor detalle lo ocurrido durante las clases y obtener nuevas conclusiones, dando lugar a nuevos trabajos de investigación acerca de los materiales didácticos que favorecen la enseñanza virtual y el aprendizaje autónomo.

Por último, cabe destacar que todo lo desarrollado durante el año 2020, podrá seguir siendo utilizado tanto en ocasiones que requieran que la enseñanza sea virtual, como cuando sea posible regresar a las aulas presenciales, como complemento de lo realizado en estas.

Bibliografía

Bayés, A., Del Río, L., Costa, V. & Manceñido, M. (2019) **Recursos educativos digitales para la enseñanza STEM basados en GeoGebra. Una metodología para su adaptación**

a dispositivos móviles. 5tas Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión ITE, Facultad de Ingeniería, UNLP, pp. 160-165.

Brzezinski, T. (2000) Pac Man is Hungry! Recuperado el 3 de marzo de 2021 de: https://www.geogebra.org/m/vnrkpxnv

Del Río, L.; Sanz, C. & Búcari, N. (2019) **Incidence of a hypermedia educational material on the Teaching and Learning of Mathematics**. Journal of New Approaches on Educational Research. ISSN 2254-7339, 8(1), pp. 50-57. DOI https://doi.org/10.7821/naer.2019.1.334

Del Río, L.; Berini, F.; Manceñido, M. (2017) **Análisis de movimiento circular y oscilatorio a partir de videos como motivación para el estudio de las funciones circulares**. 4º Jornadas de TIC e innovación en el Aula UNLP, ISBN 978-950-34-1591-7, pp. 336-342.

Del Río, L. (2017) **Visualization of limits of functions of two variables**. GeoGebra Global Gathering, Johannes Kepler Universitat. Recuperado el 3 de marzo de 2021 de: https://www.geogebra.org/m/Mvpvu5v6#material/vvs22Cfm.

Del Río, L. & Knopoff, P. (2020) **Realidad aumentada en el estudio de curvas de nivel.** II Simpósio Internacional de Tecnologias em Educação Matemática - II SITEM. 17 al 19 de septiembre de 2020. Recuperado el 3 de marzo de 2021 de: https://gpimemsitem.wixsite.com/sitem/mural-cient%C3%ADfico

Homa, A. (2019) **Robotics Simulators in STEM Education**. Acta Scientiae, Canoas, Vol. 21, N. 5, p.178-191. DOI: https://doi.org/10.17648/acta.scientiae.5417

Zöchbauer, J. & Hohenwarter, M. (2019) **Developing a live session feature for GeoGebra for teaching and learning Mathematics**. Proceedings of the 14th International Conference on Technology in Mathematics Teaching – ICTMT 14.

CONVERSATORIOS DE FÍSICA EXPERIMENTAL EN LA ENSEÑANZA MEDIA: TRAYECTO 2019 - 2021

Devece Eugenio [1,2], Tejerina Matias [2,6], Lobo Fernández Gonzalo M. J.[2,3], Gamba Martina[2,6], Pesco Pablo [2], Conconi Susana [5,6], Del Río Pauletti Catalina [3], Bolino María de los Ángeles[7],

(1) UIDET IMApEC, Dpto. de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (FI UNLP), (2) Cátedra Física I - FI UNLP, (3) Alumno - FI UNLP, (4) Dpto. de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, (5) Dpto. de Química de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, (6) CETMIC, Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica, (7) Alumna - Cs. Exactas UNLP.
mrtejerinavv@gmail.com

Resumen

En este trabajo se presentan las actividades llevadas a cabo en el marco del homónimo proyecto de extensión que vincula los actores de educación media con estudiantes y docentes de la UNLP en torno a la enseñanza y el aprendizaje de la física. Se aborda el proceso realizado durante la presencialidad, como así también en contexto de distanciamiento y aislamiento social, presentando los resultados obtenidos hasta el momento y mencionando las perspectivas para el corto y mediano plazo.

Palabras clave: *Galileo Galilei, Péndulo, Virtualidad, Planos inclinados, Aristóteles*

Introducción

En Latinoamérica, las dificultades para la enseñanza/aprendizaje de ciencias como la física en la escuela media han sido estudiadas por diversas/os autores/as en las últimas décadas [1], [2], [3]; entre otras/os). La mayoría de estos estudios han concluido que los resultados de las evaluaciones de aprendizaje en ciencias naturales y matemáticas evidenciaron la necesidad de priorizar las acciones para mejorar la enseñanza en estas áreas del conocimiento considerando que la indagación en ciencias naturales y una formación científica básica constituye un punto de partida fundamental para el desempeño ciudadano en la época actual [4]. Entendiendo además que en una sociedad cada vez más tecnológica desarrollada, es importante que exista una comprensión de la ciencia a nivel público, ya que de esta manera, se podrá formar al ciudadano, con un criterio básico para enfrentarse a los niveles de información que existen en la actualidad. Buscando contribuir al Aquilanico objetivo de "*reducir la distancia entre los creadores del conocimiento, y el público usuario de tal conocimiento*" [5]. Apuntando a solucionar las mencionadas dificultades, en dicho documento (entre otros) se recomendó una mayor vinculación entre actores universitarios y de la ciencia, con aquellos de escuelas de nivel medio de forma de lograr un mayor incentivo en el estudio de estas ciencias en esta instancia educativa. En esta ponencia se presentan las características principales (planificación, contenido y desarrollo) del taller de física experimental y debate llevado a cabo en la enseñanza media, poniendo como foco la adaptación en tiempos de pandemia, como parte del homónimo proyecto de extensión de la UNLP, y las conclusiones obtenidas de esta intervención realizada por docentes y estudiantes de la UNLP en la enseñanza media.

A grandes rasgos, durante la presencialidad, esta actividad consistía en hacer charlas-taller de intercambio con estudiantes de estos ámbitos, empleando como disparadoras experiencias que fueron importantes en la historia de la física (en Occidente). Asimismo, las herramientas didácticas desarrolladas con elementos de bajo costo se entregarán en las unidades de enseñanza técnica media involucradas

para su posterior utilización y réplica (de los distritos Bolívar y Quilmes de la pcia. de Bs. As., Argentina).

Durante el aislamiento y distanciamiento social, el proyecto fue readecuado entorno a la generación de material audiovisual didáctico y explicativo, y a la planificación de encuentros sincrónicos en los que se pueda cumplir el mismo objetivo: incentivar a estudiantes de escuela media en el estudio y la comprensión de la física, y mostrar que el concepto de "hacer ciencia" no es tan lejano como suele parecer.

Desarrollo y Discusión

Al momento de presentar el proyecto para su financiación, la idea consistió en llevar a escuelas de enseñanza media, las experiencias simples que se realizaban en la asignatura Física 1 de la Facultad de Ingeniería (UNLP). Sin embargo, hemos notado que era necesario una vinculación entre las experiencias de física, su origen y algo de su historia y sus protagonistas, para generar curiosidad en estudiantes de escuela media. Por esto, se indaga en la historia de la ciencia y en particular de la física experimental, para contextualizar las experiencias a trabajar y los interrogantes o conceptos que de las mismas han surgido. Esta parte requirió estudiar conceptos que no se enseñan formalmente en Física de la carrera de Ingeniería (UNLP). En este sentido, encontramos en la sobresaliente figura de Galileo Galilei (Toscana, 1564 – 1642) una serie de razones que ameritan su incorporación en los talleres sobre la física y el comportamiento de la naturaleza.

Galileo Galilei fue un astrónomo, filósofo, ingeniero, matemático y físico italiano. Mostró interés por casi todas las ciencias y artes. Sus logros incluyen la mejora del telescopio, gran variedad de observaciones astronómicas, conceptualizar la primera ley del movimiento y un apoyo determinante a la «Revolución de Copérnico». Ha sido considerado fundador de la astronomía y la física modernas. Según se registra en la historia de la ciencia occidental, fue uno de los primeros en utilizar el método científico: plantear una hipótesis para predecir el comportamiento de la naturaleza, realizar experimentos y verificarlos o rectificarlos mediante una observación directa. Su trabajo experimental es considerado complementario a los escritos de Francis Bacon en el establecimiento del moderno método científico y su carrera científica es complementaria a la de Johannes Kepler.

La contribución fundamental de Galileo en los comienzos de la ciencia moderna consiste precisamente en el énfasis que puso en realizar reiterados experimentos para comprobar las hipótesis y no confiar en el antiguo planteamiento "filosófico" de intentar comprender el funcionamiento del mundo utilizando solo la lógica pura y la razón. Además, fue un gran divulgador científico, generando textos en italiano y no en latín como era requerido en ese momento por las autoridades eclesiásticas, y esto ponía la ciencia al alcance de mayores sectores de la sociedad y atentaba contra la concentración elitista del saber. Su obra lo llevó a un enfrentamiento con la Iglesia Romana porque sus conclusiones científicas se opusieron a las ideas que eran impuestas en el campo de la ciencia por el poder absolutista de la institución eclesiástica de aquella época en Roma.

En el diseño del taller se aprovecharon tres aspectos de la obra de Galileo:

- Sus investigaciones acerca de la naturaleza del movimiento de los cuerpos mediante experimentos con planos inclinados y esferas: en ausencia de acciones externas, un cuerpo permanece en el estado de movimiento en que se encuentra, sea este el reposo o un movimiento a velocidad constante. Y sus observaciones y experimentación en relación al movimiento del péndulo.

- Sus revolucionarias observaciones astronómicas, permitieron comprobar la teoría heliocéntrica de Copérnico y encontrar características de distintos cuerpos celestes que desafiaron la concepción antropocéntrica del Universo y la perfección de los cuerpos celestes.
- Las dificultades que tuvo por contradecir la doctrina sobre la ciencia eclesiástica de la época.

Durante la presencialidad (año 2019), se ha llevado el taller a establecimientos educativos de la ciudad de Quilmes, Bolivar y La Plata. El mismo incluía experiencias armadas con elementos simples que luego se entregaron a los establecimientos junto con un documento descriptivo. Los experimentos incluían: estudiar el movimiento del péndulo y de bolas de billar en pistas con planos inclinados siguiendo los pasos conceptuales seguidos por Galileo; y observar el movimiento de las lunas de júpiter (y otros fenómenos astronómicos) con software computacional para compararlo con el reportado por el mítico científico en 1610. A su vez, aprovechando la temática y las especialidades científicas de lxs talleristas, se ha indagado en el preconcepto que tienen lxs estudiantes sobre las personas que han hecho o hacen ciencia.



Fig. 1. Imágenes tomadas en un taller: durante las experiencias y las palabras asociadas a científicxs según estudiantes: “Fábrica”, “Tranquilo”, “Paciente”, “Trabaja de noche”, “Laboratorio”, “Mayor de 40 años”, “Bata blanca”, “Breaking Bad”, “Con lentes”, “Flaquito”, “Aislamiento”, “vegano”, “Internet”, “Tiene familia pero no la ve”.

Para conocer el grado de motivación que generó en lxs estudiantes este taller, se realizó posteriormente una encuesta anónima cuyos resultados se muestran en Fig. 2. Como información relevante podemos observar que aproximadamente la mitad de lxs estudiantes conocían previamente los contenidos. Qué los experimentos que más llamaron la atención fueron el de astronomía y el péndulo. Que un sesenta por ciento calificó a la actividad como muy buena o excelente. Y Que la mitad de los encuestados comentó o buscó información sobre algún tema del taller. Concluyendo que durante las intervenciones presenciales se alcanzó lo propuesto por el proyecto.

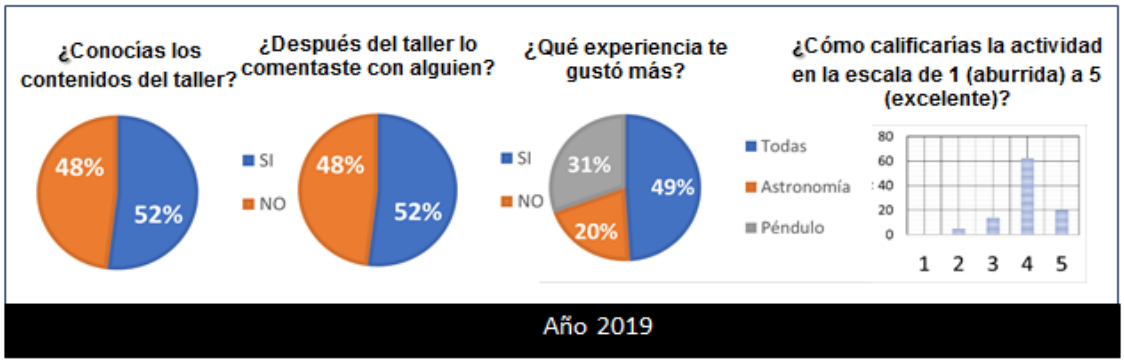
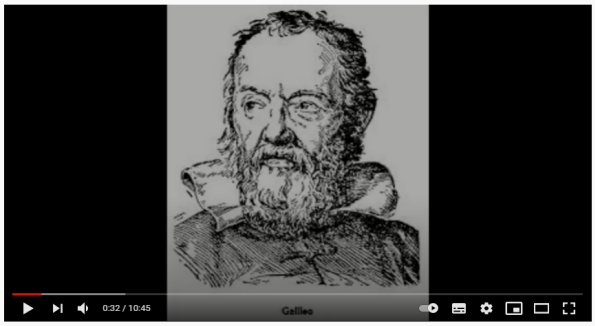


Fig. 2. Resultados de encuesta realizada posterior al taller

En el contexto de Aislamiento y Distanciamiento Social del año 2020 y 2021, el proyecto ha continuado en modalidad virtual. Se hicieron reuniones durante el año 2020 del equipo extensionista y se propuso generar contenido audiovisual sobre temáticas relacionadas con la ciencia para distribuir en los cursos que se vienen trabajando en el proyecto. Cada extensionista eligió un tema relacionado con la ciencia para armar un video, que posteriormente fue subido al canal de YouTube que posee el proyecto de extensión. Luego se compartió con lxs docentes de enseñanza media, con la intención de que dichos videos, sean disparadores de debates entre lxs alumnxs y lxs docentes. Con tal intención, los videos tuvieron una duración entre 5 y 15 min. Entendiendo que la visualización de una serie de videos breves es más amena, frente a la presentación de pocos videos, de mayor duración. A su vez, esto le permite al docente de la enseñanza media, trabajar con ellos a su gusto, optando por el abordaje de ciertos videos en los momentos que considerase oportuno. A continuación, comentamos algunos de los videos generados, y compartimos su enlace en forma de hipervínculo.

- Galileo Galilei y la revolución Científica / Elaborado por Pablo Pesco

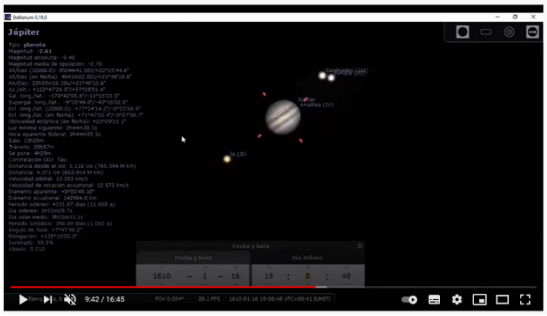
En este video se da una breve reseña de las cosmovisiones Aristotélica y Copernicana. En la cosmovisión Aristotélica el centro del Universo es el centro de La Tierra, alrededor de la cual giran los planetas y estrellas. Este orden es coherente con la teoría de los cuatro elementos según la cual todo lo que existe está compuesto por una combinación de la tierra, el agua, el aire y el fuego. En el renacimiento la teoría Copernicana pone al Sol como centro del Universo. Los experimentos de Galileo van en la dirección de comprobar esta teoría, lo que lo llevó a ser silenciado por la inquisición ya que esta idea del Universo iba en contra de las escrituras religiosas. Queremos poner de relieve de qué manera la ciencia puede dar lugar a nuevas maneras de interpretar el Universo.



Galileo Galilei y la revolución científica - GALILEO

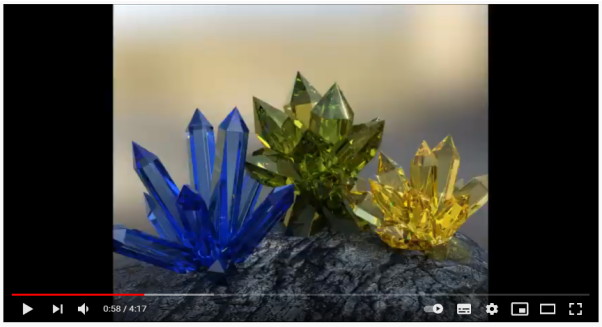
- Stellarium / Elaborado por Martina Gamba

Este video muestra la utilización del software libre “Stellarium” para analizar la posición de los astros. Dicha herramienta puede instalarse tanto en computadoras como en teléfonos celulares y permite visualizar la posición de los elementos estelares en la fecha, hora y lugar del planeta Tierra que se establezca; observando un “cielo virtual” con el aumento deseado, como si tuviéramos un telescopio. En particular, se establece la fecha, hora y lugar en la que el revolucionario astrónomo Galileo Galilei ha reportado una determinada disposición de los satélites de Júpiter para visualizarlos y se los compara con la posición dibujada manualmente en el año 1610. También se muestran otros eventos significativos como la supernova 1987A.



➢ La ciencia que estudia los cristales / Elaborado por Susana Conconi

El video describe la evolución de la cristalografía: Desde los comienzos de la humanidad se describieron por observación descriptiva, de sus formas, colores y brillo, sin saber el porqué de estas características. Los primeros intentos de describir las formas de los cristales de hielo en 1700 recién pudieron completarse en los inicios del siglo XX, a partir del descubrimiento de los rayos x por Roentgen. A través de experimentos de difracción de rayos x pudo explicarse el porqué de sus formas a partir del ordenamiento de sus átomos y moléculas. La cristalografía como ciencia que estudia los materiales cristalinos recién se desarrolló a partir del avance tecnológico-científico del siglo XX y permitió reconocer formas cristalinas en múltiples materiales de la vida cotidiana.



Cristales - GALILEO

➢ La mujer y la ciencia / Elaborado por María de los Ángeles Bolino y Catalina del Rio Pauletti

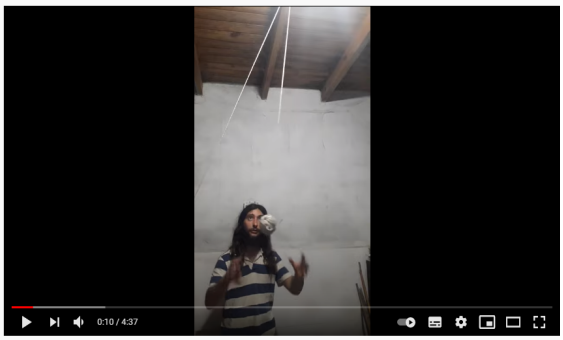
En este video reflexionamos sobre la representación de las mujeres en la ciencia, los derechos ganados a través de la historia, y planteamos interrogantes acerca de los actuales logros relacionados a los avances en materia de derechos para las mujeres.



La mujer en la ciencia - GALILEO

➢ El péndulo / Elaborado por Eugenio Devece y Fernando Lobo

En esta serie de videos, se busca introducir al alumnado, al movimiento oscilatorio de un péndulo, y los parámetros que lo definen, poniendo cómo foco, aquellos que son los más característicos, la frecuencia, el período, la amplitud, la longitud de la cuerda. Esperando poder establecer, en los encuentros virtuales, una relación entre estos parámetros, y la atracción gravitatoria del lugar en que se desarrolle la actividad, y proponer cómo disparadores, la importancia de dicha característica, para analizar las diferencias si el mismo dispositivo se ubicará en otro planeta, por ejemplo.



Pendulo largo - GALILEO

A continuación, se presentan los enlaces hacia los otros videos generados en el marco del proyecto.

➢ Experiencias en caida libre/Elaborado por Florencia Yarza

➢ Fluidos y el vuelo /Elaborado por Juan Francisco Martiarena

➢ Nanomateriales/ Elaborado por Benjamín de Peralta

➢ Ondas sonoras/ Elaborado por Guillermo Bertolini

Una vez generados los videos y distribuidos, el próximo paso es organizar encuentros virtuales con los cursos destinatarios para que puedan realizar una experiencia desde sus hogares con materiales simples durante talleres sincrónicos dictado por lxs participantes del proyecto. Se prevé realizar los encuentros en junio / 2021. Para ello, se encuentra en desarrollo un video de presentación del taller virtual indicando los elementos que necesitan lxs estudiantes para realizar la experiencia sincrónica. El experimento a trabajar en esta actividad consiste en estudiar las variables involucradas en el movimiento de un péndulo simple y estimar la aceleración de la gravedad.

Conclusiones y trabajo futuro

El acercamiento a la física desde la experimentación y contextualización histórica de los fenómenos y sus protagonistas ha generado buenos resultados durante la presencialidad para motivar el estudio de esta ciencia. Durante el aislamiento, el equipo extensionista propuso replicar el taller con herramientas digitales, material audiovisual y talleres sincrónicos. Los materiales audiovisuales, nos permitirán abordar y debatir las distintas temáticas con lxs alumnxs. Facilitando, a su vez, contenido en el que lxs docentes puedan profundizar sobre el desarrollo de sus clases. Para conocer el impacto de los talleres sincrónicos, se formularán encuestas que permitan determinar el alcance de las metas propuestas y cómo mejorar la formulación.

A trabajo futuro, se prevé coordinar experiencias sincrónicas con mayor cantidad de instituciones extendiendo el alcance del proyecto de extensión.

Agradecimientos

A continuación, se mencionan lxs integrantes del proyecto:

Bertolini Guillermo Ramon, Mastromaure Ignacio, Cid Sebastián, Gómez Daniel, Yarza Florencia, Martiarena Juan Francisco, Gamba Martina, Gomez Sofia, Biasetti Demian Aristide y Santoiani Gaston Enrico.

Se agradece a la Universidad Nacional de La Plata, por haber avalado y financiado este proyecto.

Bibliografía

[1] Jacinto C, Terigi F. (2007) ¿Qué hacer ante las desigualdades en la educación secundaria? Cap. III Políticas de mejoramiento de las oportunidades de los jóvenes en la educación secundaria.

[2] J.A. Acevedo Díaz. (2004) Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 1 (1), 2004, 3-16

[3] M. B. Roble, P. Roux, J. Cornejo (2015), Acercando la Física a las Escuelas de Enseñanza Media desde la Universidad, Vol. 27, No. Extra, 2015, 343-348.

[4] Comisión Nacional, (2007). Comisión Nacional Para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias Naturales y la Matemática. Informe nal. 2007. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, Buenos Aires.

[5] R. Aquilano, (2005). Jóvenes, ciencia y tecnología. En: Oporto, M.: Anales de la educación común. Adolescencia y juventud. La Plata: Dirección General de Cultura y Educación, 2005.

RECORRIDOS POR DÍA. UNA PROPUESTA PARA ORGANIZAR LAS CLASES EN LA VIRTUALIDAD

Trípoli, María M.[1], Bertero, María F.[2], Zorba, Bárbara E.[2] y Corva, María D.[2]
[1] Unidad de Investigación en Metodologías alternativas para la enseñanza de las ciencias - UIDET IMApEC – Departamento de Ciencias Básicas – Facultad de Ingeniería – UNLP - 1 y 47, La Plata – Bs As. - Argentina
[2] Departamento de Ciencias Básicas – Facultad de Ingeniería – UNLP - 1 y 47, La Plata – Bs. As. Argentina
mercedes.tripoli@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: clases virtuales, matemática A, metodología teórico práctica, trabajo autónomo

Introducción

La aparición de la pandemia y la cuarentena decretada en marzo del año pasado, provocó que, como docentes, tuviéramos rápidamente que tomar decisiones en cuanto a cómo íbamos a seguir desarrollando nuestras clases. Nos informaron que debíamos seguir, manteniendo "activos a nuestros alumnos". Entonces, surgieron un sin número de interrogantes, relacionados tanto a cuestiones pedagógicas como tecnológicas, y hasta familiares y personales. Fuimos tomando distintas decisiones condicionadas por las diversas variables involucradas: disciplina a enseñar, momento de la carrera en que se dicta la materia, tipo de conexión a internet, dispositivos tecnológicos disponibles, tipo de conocimiento en el uso de los recursos disponibles, conocimiento sobre la enseñanza en línea o virtualización de la enseñanza, dinámica familiar, situaciones personales, entre otras. No tuvimos mucho tiempo para realizar una reflexión pedagógica y tecnológica. Nuestro accionar como docentes se vio de golpe mediado (en su totalidad) por tecnologías de la comunicación con las cuales, no todos estábamos familiarizados. Podemos decir, que, en esta primera instancia de seguir con la tarea docente, hicimos lo mejor que se podía con lo que teníamos, ante una situación desconocida, como mencionan del Río, Knopoff, Boero y Ciliberti (2020).

La cuarentena siguió y en consecuencia las clases virtuales en la universidad. Esto provocó que, como docentes, tuviéramos que replantearnos nuestra manera de dar clases y empezáramos a indagar sobre la virtualización de la enseñanza, ya que las formas de planificar son distintas, así como interpretar y comprender el rol docente y la misma clase en el contexto de la enseñanza en línea.

En particular, en este trabajo describimos la propuesta que se implementó en el primer semestre de 2021, en una comisión de Matemática A de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, para organizar las clases día a día con los estudiantes.

Algunas características de las clases presenciales

Matemática A es una materia semestral que pertenece al primer semestre de los Planes de Estudio de todas las carreras que se dictan en la Facultad. Se organiza en varias comisiones intentando que no superen los 80 estudiantes, cada una.

La cátedra cuenta con un material de estudio confeccionado con el fin de desarrollar una metodología teórico práctica en sus clases. En dicho material se intercalan actividades, ejercicios, ejemplos, definiciones y teoremas. Este texto es central en el aula, y es el que guía el desarrollo de los distintos temas. En cuanto a la dinámica del aula específicamente, la manera de trabajar que llevamos a cabo en la comisión involucrada en este trabajo,

generalmente es que los estudiantes, organizados en grupo, comienzan con la lectura del tema correspondiente y los docentes (que somos 3 o 4 en simultáneo) colaboramos en el proceso que van llevando a cabo los alumnos. Vamos haciendo intervenciones generales para todos los estudiantes (en el pizarrón), ya sea con la resolución de algún ejercicio (mediante una interacción entre los alumnos y los docentes) como así también con alguna explicación orientada a fundamentar de manera teórica los conceptos involucrados. Asimismo, pueden pasar al pizarrón los estudiantes a contarles a sus compañeros algún ejercicio. De acuerdo a las características del grupo, y al tiempo de que se disponga, presentamos otras propuestas que no están en el material.

Las aulas en donde se desarrollan las clases son planas y están equipadas con mesas (pensadas para que trabajen entre seis y ocho estudiantes) para favorecer el trabajo grupal y colaborativo. Los docentes mantenemos una interacción constante con los estudiantes en las diferentes mesas, sobre todo considerando que estamos doce horas en el aula, distribuidas en tres días de cuatro horas cada uno.

Los recursos que utilizamos en las clases son el material de estudio y el pizarrón. También solemos usar el software GeoGebra (software matemático de acceso libre) que los estudiantes tienen en su celular. Y mucho papel, lápiz y goma.

El cierre del tema lo hacemos en el pizarrón, y se plantea como una actividad de puesta en común, en donde realizamos un repaso de los conceptos relacionados al tema del día, promoviendo una participación activa por parte de los estudiantes. La finalidad es poner puntos en común con todos los alumnos, ya que al recorrer las mesas podemos observar las dificultades comunes que van teniendo. No es algo expositivo, en el sentido de pararse en el pizarrón a contar definiciones y teoremas, sino es interactuar con los estudiantes mediante ideas y reflexiones sobre el tema. Algo que hacemos normalmente, es que el jefe de trabajos prácticos presenta ejemplos, intentando construir con los alumnos las resoluciones de los ejercicios.

Repensando las clases para la virtualidad

En la búsqueda de encontrar de qué manera seguir propiciando la manera de trabajo teórico práctica que veníamos desarrollando en el aula de clase, y luego de transitar por distintas alternativas, diseñamos e implementamos lo que llamamos “recorridos por día”, en donde organizamos el trabajo de los estudiantes para cada día de clase.

Estaba claro que no podíamos hacer lo mismo que en la presencialidad, pero sí queríamos seguir manteniendo esta mirada de la enseñanza, basada en una metodología teórico práctica, en donde nos interesa el trabajo grupal y colaborativo, y orientando a que los estudiantes comiencen a adquirir una autonomía en su estudio. No se trató de hacer lo mismo que en la clase presencial sino de “crear elementos que posibiliten nuevas miradas e interacciones entre los materiales, los conocimientos y los sujetos” (Barleta, Gallo y Alce, 2020, p. 8). La idea fue incorporar propuestas de inclusión genuina de tecnología en las prácticas de la enseñanza, con el objetivo de favorecer comprensiones profundas y perdurables (Maggio, 2012).

Como ya se mencionó anteriormente, la cátedra cuenta con un material de estudio, que es central en el aula, y es el que guía el desarrollo de los distintos temas. La propuesta sigue siendo que los estudiantes trabajen sobre el material, que se encuentra en la página de la cátedra, y los docentes les proponemos otros recursos que los ayude en el proceso que van desarrollando.

Concretamente, desarrollamos un esquema de trabajo por día, que se sube al aula virtual al inicio del horario de clase, para que los estudiantes se orienten en el estudio de los distintos temas y de qué manera hacerlo, y a su vez pensado también para organizar temporalmente al alumno y al docente. En la Figura 1 se muestran dos recorridos de dos días distintos, uno más hacia el inicio de la cursada y otro antes del primer parcial. Estos recorridos, son presentados como documentos en formato pdf. Generalmente se estructuran, primero mencionando las páginas del material de estudio correspondiente al día de la clase con las que los estudiantes deben trabajar, como se hacía en la presencialidad, y luego explicitando el material de apoyo que se propone para dicho día, en forma ordenada.

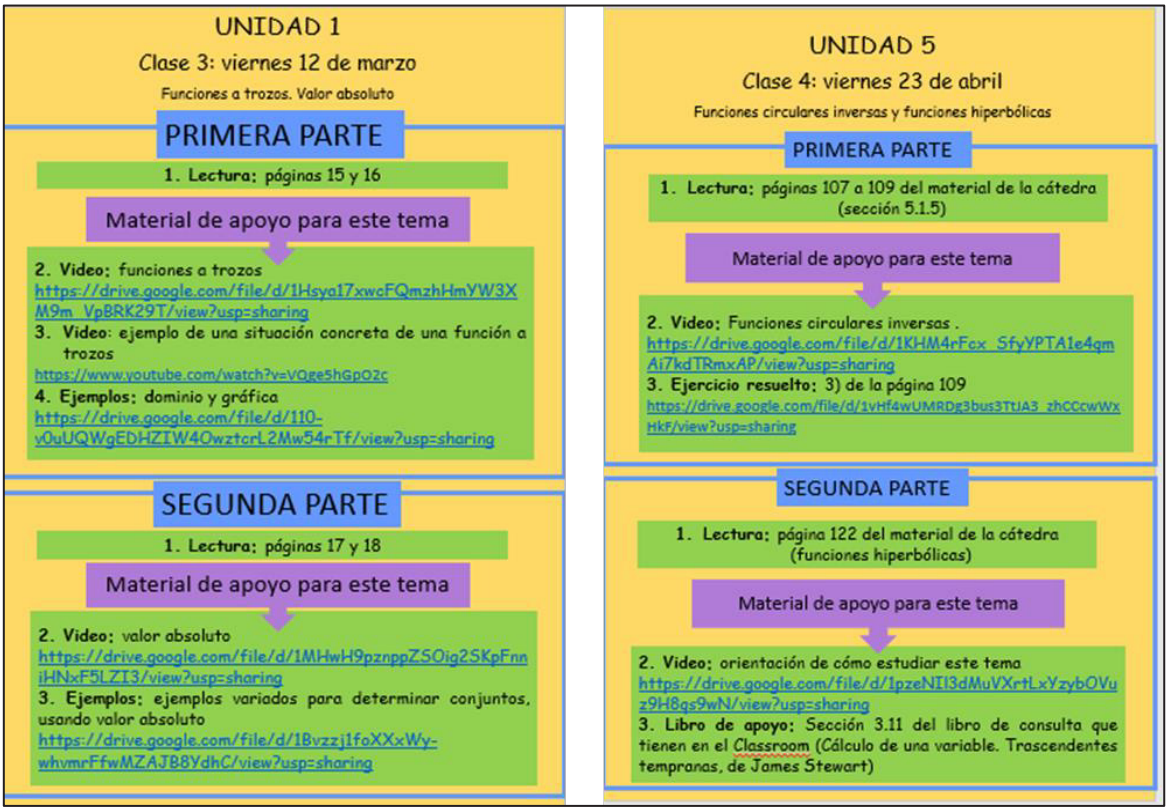


Figura 1. Ejemplos de recorridos. Tercera clase de unidad 1 y cuarta clase de unidad 5.

El material de apoyo involucra videos no muy extensos, audios, documentos, propuestas de ejercicios para que analicen, uso del GeoGebra para que lo utilicen para sacar conclusiones de lo que van estudiando, ejemplos de ejercicios en forma de video o de manera escrita tanto a mano alzada como en una presentación, ejercicios resueltos, entre otras variantes. Vamos analizando, qué es lo conveniente para cada caso, de acuerdo a los diferentes temas, teniendo en cuenta nuestra experiencia en la enseñanza de esta materia y también considerando diversas situaciones que van surgiendo en la relación con los estudiantes.

En la Figura 2 se muestra el esquema de trabajo que se propone en el recorrido del día de una clase en particular, donde se pueden observar más detenidamente los materiales mencionados en el párrafo anterior. La idea es diversificar proponiendo distintas formas de abordaje, pero sin perder de vista que es el momento de actividad de los estudiantes; es así que se espera que indaguen, intercambien, produzcan, comprendan, aprendan a hacer.

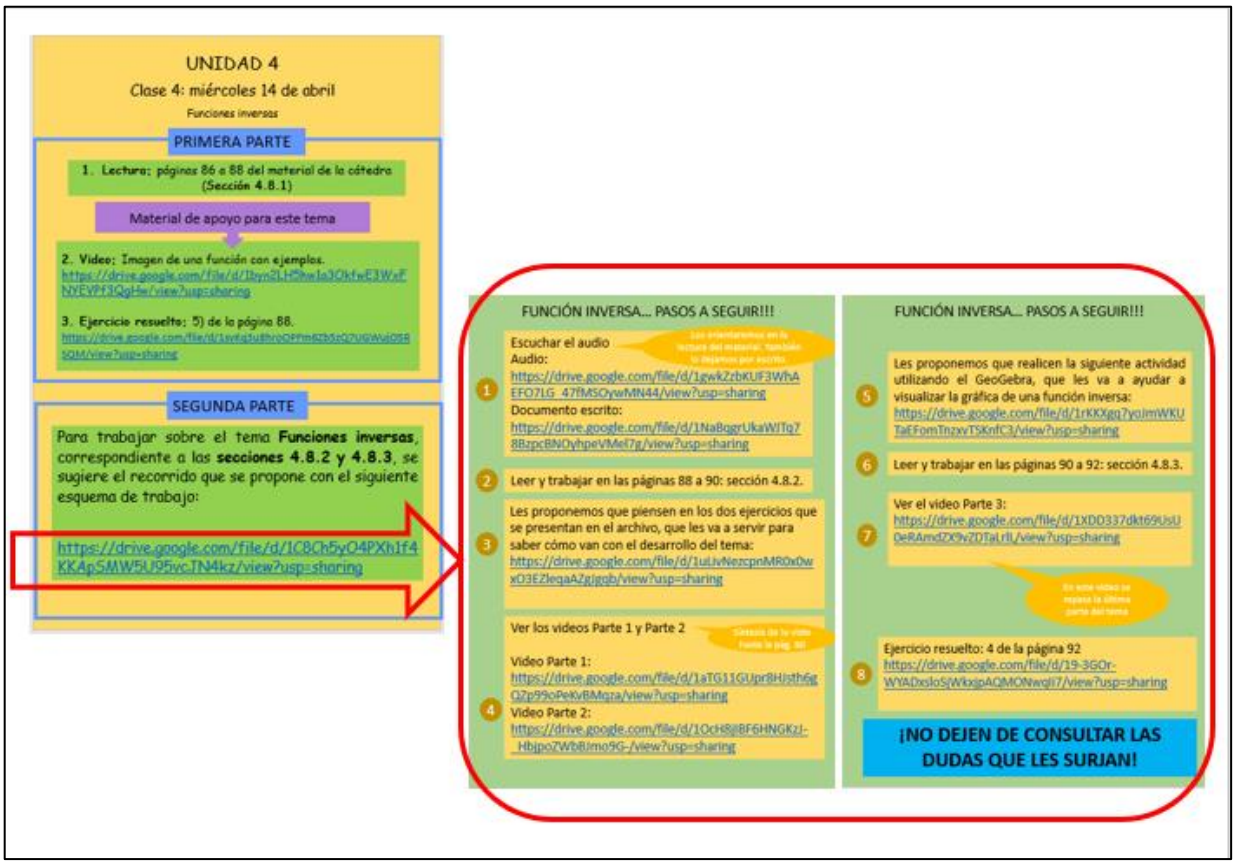


Figura 2. Recorrido de un día donde se pueden observar diversos materiales de apoyo.

El objetivo de estos recorridos y lo que en ellos proponemos, como ya se mencionó, es crear elementos que permitan otras miradas y diálogos entre los materiales, los conocimientos, los estudiantes y los docentes. Y a su vez, no perder de vista, que la incorporación de las tecnologías es una herramienta de apoyo a la enseñanza y no el eje central de la propuesta. Se intenta generar aprendizajes genuinos en los estudiantes, concibiendo que saber enseñar es “permitir espacios en los cuales docentes y estudiantes pueden comprometerse en el diálogo y la reflexión” (Juarros y Levy, 2020, p. 4), y consideramos que es un desafío lograr esa comunicación esencial en el proceso de enseñanza, en particular en la virtualidad.

Siguiendo a Juarros y Levy (2020), consideramos que las herramientas digitales de comunicación nos llevan a tener que atender, por un lado, lo referido al contenido del mensaje y, al mismo tiempo, los modos en que este es presentado. En cuanto al contenido del mensaje, pensado como el contenido a enseñar, atendimos la manera de presentar los contenidos a los estudiantes. La propuesta en general y los distintos recursos digitales elegidos, permiten pensar la tarea de enseñar favoreciendo el diálogo, la interacción y el trabajo cooperativo. La producción de los recursos utilizados en la propuesta la pensamos para promover la construcción y apropiación de contenidos disciplinares, y a la vez, favorecer los intercambios comunicativos (Barleta, Gallo y Alce, 2020).

Es importante señalar que tanto los videos como los documentos desarrollados están en diálogo con el material, no es la intención hacer un desarrollo teórico de los temas involucrados sino dar ideas de los conceptos introducidos que los ayude en la lectura previa que realizaron, focalizando en las dificultades que los estudiantes suelen manifestar. En general, lo presentado en los videos lo fuimos relacionando con las clases previas y en varias oportunidades las vinculamos con las posteriores, considerando que el proceso de enseñanza y aprendizaje es un proceso continuo.

La propuesta se basa fuertemente en la asincronía, lo que posibilita, como menciona Asinsten (2013), “que los estudiantes accedan a los mismos en el momento que prefieran, con la cantidad de repeticiones necesarias” (p. 108) y en el lugar que estén, superando así las barreras temporo-espaciales que caracterizan la enseñanza en línea. No obstante, incorporamos encuentros sincrónicos, a los que llamamos “encuentros en vivo”, en donde los estudiantes pueden realizar consultas o discutir alguna actividad o ejercicio que se les da previamente para que lo trabajen, generalmente, en forma grupal. Para esto, habilitamos en el aula, varias salas de videoconferencia, donde los estudiantes pueden trabajar en grupos y recurrir a nosotros (los docentes) si necesitaran apoyo, pudiendo los docentes ingresar a los grupos y a la discusión.

Conclusión a manera de reflexión

Al momento de hacer este relato, hemos trabajado sobre todo el Módulo I (la materia cuenta dos módulos, uno correspondiente a cada parcial) y consideramos que la propuesta permitió, de acuerdo a nuestro propósito, seguir propiciando una metodología de trabajo teórico práctica y además, favorecer el trabajo autónomo por parte de los estudiantes. A su vez, consideramos que estos recorridos por día, permitieron un “orden” que facilitó el tránsito del estudiante por el aula virtual. Además, dentro de la diversidad de recursos incorporados en los materiales de apoyo, se intentó mantener los mismos formatos, porque consideramos que ayuda a una mejor comprensión de la propuesta didáctica.

Tenemos claro que, como en toda propuesta educativa, para el buen funcionamiento de la misma es indispensable el compromiso tanto por parte de los estudiantes como de los docentes. A su vez, es necesario que los estudiantes nos hagan saber las dificultades que se les vayan presentando en el desarrollo del recorrido, para así realizar los ajustes necesarios. Esto es indispensable para que la propuesta mencionada cumpla con los objetivos planteados.

En algunos encuentros que hemos tenido con los estudiantes, en las salas de videoconferencias, éstos nos han manifestado que al principio les costó un poco adaptarse a esta forma de trabajar pero que luego entendieron la propuesta. De todas maneras, así como sucede en la presencialidad, suelen manifestar la necesidad de una explicación teórica del tema por parte del docente previo a que ellos se pongan a trabajar en el material de estudio.

Podemos decir que recién empezamos a transitar en la “virtualización de la enseñanza”, seguiremos aprendiendo y como dice Asinsten (2013), “todo esto es un proceso, largo, heterogéneo, con avances y retrocesos. No se resuelve con normativas, ni hay fórmulas mágicas … Lo importante; estamos caminando. Y haciendo camino al andar” (p. 113).

Bibliografía

Asinsten, J. C. (2013). Aulas expandidas: la potenciación de la educación presencial. *Revista de la Universidad de La Salle*, (60), 97-113.

Barletta, C. M.; Gallo, L. y Arce, D. M. (2020). Módulo 4: Producción de recursos didácticos para la enseñanza universitaria en entornos virtuales. Pedagogía crítica y didáctica en la enseñanza digital. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación.

Del Río, L. S., Knopoff, P., Boero, E., & Ciliberti, L. (2020). Innovación e improvisación en el marco de la pandemia de COVID-19: relato de una experiencia. *Trayectorias Universitarias*, 6(10), 020. https://doi.org/10.24215/24690090e020

Juarros, M.F. & Levy, E. (2020). Módulo 1: La práctica docente en la educación a distancia. La relación pedagógica mediada por tecnologías. Pedagogía crítica y didáctica en la enseñanza digital. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación.

Maggio, M. (2012). *Enseñanza poderosa. Enriquecer la enseñanza. Los ambientes con alta disposición tecnológica como oportunidad*. Buenos Aires: Paidós.

ENFOQUE POR COMPETENCIAS EN MODALIDAD VIRTUAL: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ACTIVIDAD DE FORMACIÓN COMPLEMENTARIA EN LA CARRERA INGENIERO AGRIMENSOR

Costa Viviana Angélica[1], Justo Claudio Eduardo[2]
[1]IMApEC, Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP, vacosta@ing.unlp.edu.ar,
[2]Departamento de Agrimensura, Facultad de Ingeniería, UNLP, claudio.justo@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: enfoque por competencias, formación complementaria, aprendizaje centrado en el estudiante, agrimensura, altimetría.

RESUMEN

En este trabajo se describe el diseño de una Actividad de Formación Complementaria en el enfoque por competencias junto con su implementación en modalidad virtual. Esta actividad fue adaptada de una anterior con modalidad presencial, con enfoque en los contenidos.

Se describe la adaptación de la actividad (Seminario de Extensión) que se realiza desde el año 2015 en forma ininterrumpida, tanto al cambio de plan de estudios 2018, como al cambio de paradigma pedagógico de la formación del ingeniero que es la enseñanza por competencias.

Respecto del cambio de plan de estudios, la inclusión de las actividades de formación complementaria y sus distintas modalidades se incorpora la actividad en la ordenanza N° 042-01-2019. Respecto de la enseñanza por competencias se busca tanto el trabajo de las competencias genéricas como las específicas.

Su implementación virtual se da en razón de decretarse, en Marzo de 2020, el Aislamiento Social Preventivo y Obligatorios debido a la Pandemia declarada por la OMS. También se busca indagar sobre el conocimiento previo de los estudiantes acerca de este nuevo paradigma. La actividad realizada muestra su utilidad no solo para la formación específica de los futuros ingenieros, sino también para la difusión de los nuevos enfoques de enseñanza y para la re-significación de la propia práctica docente.

INTRODUCCIÓN

En forma progresiva, desde el año 1995 las carreras de Ingeniería comenzaron a integrarse al cuerpo de las carreras de interés público (art. 43 de la Ley de Educación Superior N° 24.521). Dentro de ese marco la formación en ingeniería, establecida por CONFEDI, está requiriendo la adquisición de determinadas competencias de egreso.

Estas incluyen competencias tanto genéricas (CG) como específicas (CE). Las competencias genéricas (CONFEDI, 2007) son transversales a todas las carreras mientras que las específicas conciernen a cada especialidad y determinan las Actividades Reservadas Exclusivamente al Título (Resolución ME 1.254/2018). Ambos tipos de competencias de egreso, se encuentran detalladas en el Libro Rojo del CONFEDI.

Desde el año 2015 las asignaturas Matemáticas C y Cálculo de Compensación vienen realizando una actividad extracurricular encuadrada como Seminario de Extensión. Consiste en una actividad de articulación entre cátedras que pertenecen a distintos departamentos de esta facultad y a distintos años en la cursada de Ingeniería en Agrimensura. En dicha actividad relatada en Costa, Justo (2015), y en Justo, Costa (2017), se trabajan elementos del Álgebra

Lineal (contenidos de Matemáticas C) aplicados al ajuste de redes altimétricas (contenido de Cálculo de Compensación). El objetivo, es integrar los mencionados contenidos de ambas asignaturas en una práctica profesional que incumbe al título de Ingeniero Agrimensor.

En 2018 con el cambio de planes de estudio se introducen las Actividades de Formación Complementaria (AFC) posibilitando la acreditación de actividades extracurriculares. El pasaje de enseñanza por contenidos a enseñanza por competencias no es inmediato, mucho menos definitivo, porque implica casi un diseño inverso de las actividades en el aula. Hay que comprender qué significa Competencia en el marco de los Libros Azul y Libro Rojo de CONFEDI. Comprender cómo se definen los Resultados de Aprendizaje (RA) (Tobón, 2013) resulta fundamental para iniciar el camino de comprender qué es una Competencia. Según European Qualifications Framework[1] (EQF), los resultados de aprendizaje son "expresiones de lo que una persona en proceso de aprendizaje sabe, comprende y es capaz de hacer al culminar un proceso de aprendizaje". Finalmente, las competencias de egreso estarán conformadas por RA. Con este marco legal y conceptual de la enseñanza por competencias y el nuevo Plan de Estudios 2018 se presenta un desafío a niveles tanto institucional, de cátedras como individual. Es en estos dos últimos aspectos que se enfoca este trabajo.

DESARROLLO

Resultado de Aprendizaje

El diseño por competencias de la actividad original comenzó por comprender el concepto y formulación del RA que se venía trabajando, aunque de una manera inconsciente e intuitiva orientada a formar competencias. Para poder diseñar tanto la Mediación Pedagógica (MP) como los Criterios de Evaluación (CE) y los Mecanismos de Evaluación (ME).

La estructura adoptada para su formulación fue la siguiente:

[Verbo de Desempeño] + [Objeto de Conocimiento] + [Finalidad (es)] + [Condición (es) de Referencia]

Para esta AFC se eligió el siguiente:

Aplicar + herramientas del Álgebra Lineal + en datos reales (topográficos) + para resolver un problema altimétrico

La elección del Verbo de Desempeño se hizo aplicando la Taxonomía Cognoscitiva de Bloom, revisada por Anderson y Krathwohl en Wilson (2016) y de acuerdo al nivel de avance de los estudiantes en la carrera.

[1] EQF-MEC, Marco europeo de cualificaciones para el aprendizaje permanente es un marco común de referencia creado por la Unión Europea que relaciona entre sí los sistemas de cualificaciones de los países para mejorar la interpretación y comprensión de las cualificaciones de diferentes países y sistemas de Europa.

Competencias a trabajar

Otro punto fuerte del diseño por Competencias es justamente en cuáles competencias específicas tributa el RA. Este RA lo hace en tres carreras de esta Facultad, que son Ingeniero Agrimensor, Ingeniería Civil e Ingeniería Hidráulica, en los Descriptores de Conocimiento (DC) (Libro Rojo de CONFEDI).

Para el Ingeniero Agrimensor tributa en la CE "1.1: *Determinar y verificar por mensura, Límites de objetos territoriales legales de derecho público y privado, parcelas y estado parcelario".* Para Ingeniería Civil lo hace en la CE "1.2: *Medir, calcular y representar planialtimétricamente el terreno y las obras construidas y a construir con sus implicancias legales"*. En el caso de Ingeniería Hidráulica forma parte del DC Topografía.

Específicamente en esta AFC se trabajan las Competencias Genéricas. Las Competencias Genéricas elegidas pertenecen, una a las llamadas tecnológicas: "1. *Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería", y otra a las Competencias sociales, políticas y actitudinales.* Dentro de estas últimas se eligió la " 7. *Comunicarse con efectividad"*. Ambas competencias se encuentran mencionadas en el Libro Rojo de CONFEDI y desarrolladas en forma extensiva en el Libro Azul de CONFEDI.

Mediación Pedagógica

La mediación pedagógica alude a cómo se va a realizar el proceso que culmine con la obtención del RA. Se adoptó el aprendizaje invertido (Cukierman, 2018) para estimular el protagonismo del estudiante, ya que otro de los pilares del nuevo paradigma es el Aprendizaje Centrado en el Estudiante de Ingeniería (ACEI) que propende a la participación activa del estudiante tanto como del docente.

La virtualidad súbita impuesta por el Covid-19 orientó la mediación al empleo de las tecnologías de mediación dispuestas por la Facultad de Ingeniería, a saber, las herramientas contratadas con Google LLC. Estas fueron Google Classroom, Google Meet y Jamboard. La herramienta Classroom sirvió para adelantar a los alumnos el material de manera que los encuentros virtuales sincrónicos desarrollados por Google Meet no fueran pasivos sino más bien de consulta, profundización y diversificación del material brindado.

Evaluación

Tanto los aspectos a evaluar, los niveles a alcanzar y sus respectivos criterios de valoración quedaron explicitados en una Rúbrica de manera de disipar lo más posible la lógica ansiedad de quién va a ser evaluado. La misma puede apreciarse en la tabla 1.

Aspectos a evaluar	Descripción	Nivel 1 (exiguo)	Nivel 2 (competente)	Nivel 3 (óptimo)
Modelado de datos reales	Asimilación de los datos en un sistema de referencia.	No logra comprender la relación entre los datos y el sistema.	Realiza el modelado de los datos.	Evalúa modelos alternativos.
Modelado y resolución del problema	Empleo de los saberes para la obtención de	No logra resolver el problema.	Identifica las características del mismo. Lo vincula con	Obtiene resultados mediante el uso de herramientas computacionales.

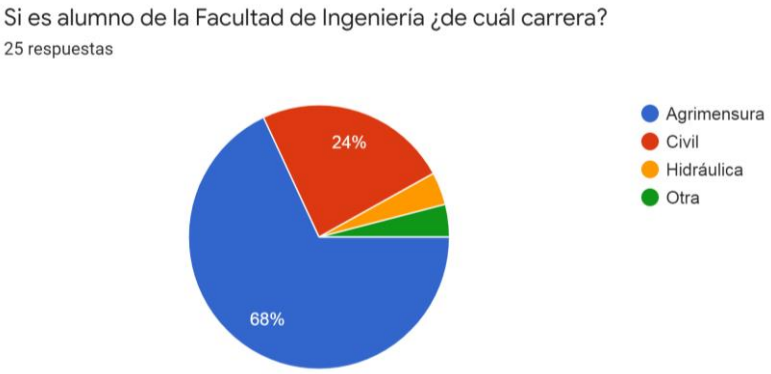
	los resultados buscados.		conceptos del Álgebra Lineal: déficit de rango, inconsistencia.	
Comunicación de resultados	Defensa de los resultados obtenidos.	No comunica resultados.	Presenta un informe con el modelado y las características del mismo.	Presenta y defiende los resultados del informe con conclusiones

Tabla 1: Rúbrica de evaluación.

RESULTADOS

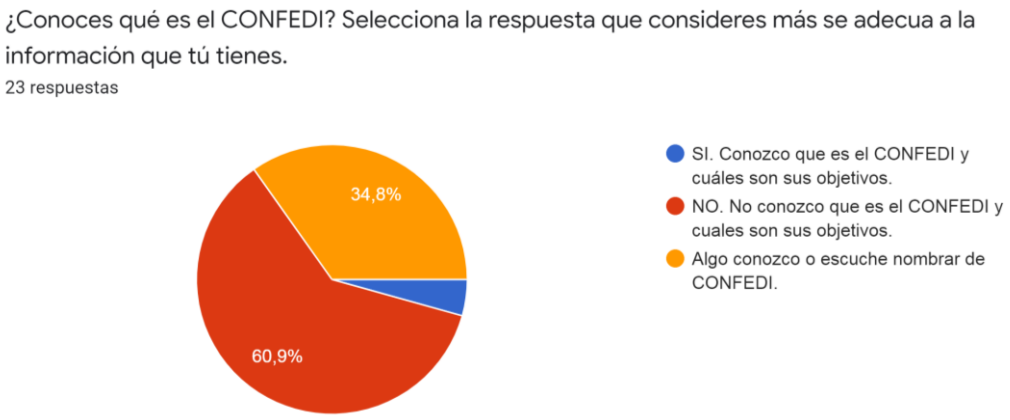
Inscriptos y cuestionario previo

La inscripción a la actividad se realizó a través de un formulario de Google. Los inscriptos fueron 26 entre estudiantes de las carreras de ingeniería civil, agrimensor, hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP y otros fuera de esta facultad. La composición del grupo fue la siguiente.



Previo al inicio, y considerando el enfoque por competencias propuesto para la actividad, se les consultó a los participantes sobre sus conocimientos acerca de CONFEDI y de las competencias requeridas según sus carreras.

Encontrándose que el 70% desconoce el CONFEDI. El 96% desconoce las competencias que establece CONFEDI para los egresados de ingeniería. Además el 96% desconoce cuáles son las competencias específicas y genéricas para sus carreras, como se observa en el gráfico siguiente.



La actividad se desarrolló en tres encuentros que a continuación se describen brevemente.

Encuentro 1

Con anterioridad al primer encuentro se crea una Clase en Google Classroom como lugar de encuentro asincrónico. Allí se dispone del material de lectura que contiene la presentación del problema altimétrico, los datos a utilizar para el modelado y planteo matemático. Se presenta además, un breve repaso de los conceptos necesarios para comprender los modelos matemáticos, la descripción del proceso de obtención de los datos (que en la modalidad presencial implicaba realizar la tarea de campo en el predio de la facultad).

Encuentro 2

Para este encuentro se dispone con anterioridad el material necesario para la construcción de los modelos, resolución y posibles alternativas. El trabajo es grupal y/o individual, y la bibliografía a utilizar corresponde a temas de Álgebra Lineal, en particular el Método de Mínimos Cuadrados (Lay, 2001; Poole, 2011).

Encuentro 3

Durante este encuentro, se presentan los trabajos realizados, los resultados obtenidos, se debate, se evalúa y se cierra la actividad. La evaluación se realizó en forma oral mediante video conferencia por Google Meet y consistió en la exposición de los resultados obtenidos y presentados en un informe. Se buscó que la comunicación de los mismos se diera tanto en forma escrita como oral. Según la rúbrica presentada en la Tabla 1, los participantes de la actividad alcanzaron en cada uno de los aspectos el nivel 2: competente. De los 26 inscriptos, 10 no asistieron a los encuentros sincrónicos que se realizaron previo acuerdo con los participantes, los 16 restantes asistieron y participaron de todas las instancias.

CONCLUSIONES

En este trabajo se relató la adaptación de un Seminario realizado desde el año 2015 en modalidad presencial y con enfoque en los contenidos, en una AFC en modalidad virtual y en el enfoque por competencias y ACEI. Se obtuvieron buenos resultados de la evaluación, alcanzando los participantes un nivel competente en todos los aspectos.

A futuro para la concreción efectiva de este nuevo paradigma se requiere una aplicación amplia de este en el trayecto curricular de los estudiantes. No obstante esto, la simple toma de conocimiento por parte de los estudiantes aunque sea en forma esporádica permitirá su difusión y perfeccionamiento.

En cuanto a la modalidad virtual hay competencias que es imposible acreditar dentro del espacio institucional tradicional, debiendo considerarse la inclusión de otros actores de la comunidad educativa. Más allá de la modalidad escogida para el proceso de Enseñanza Aprendizaje siempre se debe tener en cuenta atender a la diversidad, sea en modalidad presencial, virtual o mixta.

Referencias Bibliográficas

CONFEDI (2007). Competencias Genéricas. Desarrollo de competencias en la enseñanza de la ingeniería argentina. San Juan: Universidad Nacional de San Juan. 37p.

Costa V. A., Justo C. E. (2015). El Álgebra Lineal en la Resolución de Problemas Altimétricos de Topografía. Universidad Tecnológica Nacional. XIX Encuentro Nacional, VII Internacional. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional. Libro digital. ISBN 978- 950-42-0165-6. Capítulo 1: Aplicaciones de la Matemática. 13-22. http://www.frsn.utn.edu.ar/EMCI/files/Acta_XIXEMCI.pdf

Cukierman, U. (2018). Aprendizaje centrado en el estudiante: un enfoque imprescindible para la educación en ingeniería. *Aseguramiento de la calidad y mejora de la educación en ingeniería. Experiencias en América Latina, Bogotá, ACOFI/CONFEDI*, 27-39.

Justo C. E. y Costa V. A. (2017). Resolución de problemas altimétricos mediante la articulación entre cátedras de distintas áreas. IV Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería

Lay, D. C. (2001). Álgebra lineal. México: Prentice Hall.

Libro Rojo de CONFEDI. https://www.ing.unlp.edu.ar/sitio/institucional/difusion/archivos/LIBRO_ROJO_DE_ CONFEDI_estandares_de_segunda_generacion.pdf

Libro Azul de CONFEDI https://confedi.org.ar/wp-content/uploads/2021/05/LIBRO-VERDE-CONFEDI-PROPUESTA-DE-ACREDITACION-CARRERA-DE-GRADO-2000.pdf

Poole, D. (2011). Álgebra lineal: una introducción moderna. Cengage Learning Editores.

Tobón, S. (2013). Los proyectos formativos: transversalidad y desarrollo de competencias para la sociedad del conocimiento.

Wilson, L. O. (2016). Anderson and Krathwohl–Bloom's taxonomy revised. *Understanding the New Version of Bloom's Taxonomy*.

PROBLEMAS ABIERTOS EN TIEMPOS DE VIRTUALIDAD

Devece Eugenio [1,2], Gallego Sagastume Juana [1,2], Vilche Ernesto A. [2],
Fernández Lobo Gonzalo M. J.[2.,3], Suarez Juana [3],
Pellegrino Eric [3], Grippo Franco [3], Cruz Iván [3]

(1) UIDET IMApEC, Dpto. de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (FI UNLP), 1 y 47, La Plata, Argentina. **(2)** Cátedra Física I - FI UNLP **(3)** Alumno - FI UNLP
chinchiya@gmail.com

Resumen:

En la cátedra de Física I de la facultad de ingeniería desde hace años se viene realizando, a modo de prueba piloto en algunos cursos, además de los laboratorios convencionales, un cambio en la dinámica del aula orientado a la resolución de problemas mediante investigación. Para ello se le presenta a los alumnos dos o tres situaciones abiertas optativas, a ser resueltas con el acompañamiento del personal docente durante el desarrollo del proyecto.

De esta forma se pretende actualizar la Educación en Ingeniería promoviendo un aprendizaje por competencias activo y centrado en el alumno.

En 2020 este tipo de actividades debieron mutar y adaptarse a la virtualidad, metodologías que se debieron tomar para poder seguir adelante con la formación de los futuros ingenieros en tiempos de aislamiento.

En este trabajo se realizará una descripción de los elementos y modalidades que se tuvieron en cuenta para adecuar este tipo de actividades a la virtualidad analizando los objetivos alcanzados y comparándolos con los alcanzados en la presencialidad.

Palabras claves: problema abierto, enseñanza centrada en el alumno, integración de conocimientos, competencias, virtualidad

Introducción:

La materia Física I es una materia básica que el alumno de ingeniería debe cursar y aprobar durante su formación. En ella se desarrollan diferentes temas de la física clásica: mecánica, sonido, fluidodinámica y termodinámica.

Se espera que el futuro ingeniero sea parte de la sociedad actual, una sociedad que le requerirá, la habilidad de conocer, y de aplicar sus conocimientos a fin de encontrar una solución eficaz y eficiente a los problemas que se le presenten, [1], en el Libro Rojo del CONFEDI, este conjunto de habilidades se denota como “competencias”, y describe las básicas esperadas de un ingeniero. De esta forma *“Los problemas que se presentan en la actividad diaria del ingeniero son por lo general abiertos o semiabiertos”* [2], entonces, ¿Por qué restringir el aprendizaje en el alumno, durante su cursada, a los problemas cerrados que suelen presentarse en las guías prácticas? Se busca que el futuro ingeniero sea capaz de ejercer su profesión en la realidad socio-económica que lo rodea, y, entendiendo que en su futuro, se desarrollará mayormente resolviendo problemas abiertos, es que desde hace unos años, a modo de prueba piloto, se está implementando en la cátedra de Física I, en algunos grupos, la resolución de problemas abiertos (PA) [3] pensados de manera integral, optativos, para que el alumno ponga en práctica diferentes

conceptos que fueron aprehendidos durante la cursada y sean capaces de complementarlos con tecnologías y/o saberes que pudiese tener o adquirir.

El aprendizaje basado en PA, es una estrategia de enseñanza-aprendizaje donde resulta igualmente importante que el alumno adquiera conocimientos como su capacidad para desarrollar habilidades y actitudes [1]. Algunos de los objetivos de un PA, en concordancia con la posibilidad de realizar una evaluación bajo un enfoque por competencias, son entre otras, generar en el alumno la responsabilidad de su propio aprendizaje; poner en contexto los alcances y las limitaciones de lo aprendido; desarrollar habilidades para la evaluación crítica y la adquisición de nuevos conocimientos; estimular las relaciones interpersonales, y la capacidad de trabajar colaborativamente de manera grupal; que el alumno tome la iniciativa y sienta entusiasmo al sentirse involucrado con el problema a resolver; saber identificar la falta de habilidades y/o conocimientos de manera eficiente y eficaz.

El alumno, tiene la posibilidad de desarrollar pensamiento crítico en el mismo proceso de enseñanza - aprendizaje, e incorporarlo como algo adicional, algo que es parte del mismo proceso de interacción que tuvo que realizar, para llevar adelante el aprendizaje. La estructura y el proceso de solución al problema están siempre abiertos, lo cual motiva a un aprendizaje consciente y al trabajo de grupo sistemático en una experiencia colaborativa de aprendizaje.[4]

La metodología de trabajo es crear un grupo pequeño de alumnos que pueda analizar y resolver un problema a su elección, con el acompañamiento de un docente (tutor), dentro de una serie de problemas propuestos. Se espera además, que durante el trabajo grupal, los integrantes adquieran la responsabilidad y la confianza en el trabajo realizado, desarrollando la habilidad de dar y recibir críticas orientadas a la mejora de su desempeño y del proceso de trabajo del grupo [5]

Durante el desarrollo de esta actividad, en forma presencial, los alumnos tenían la posibilidad de ir entregando un informe grupal, en el cual se debían plasmar las diferentes etapas de la resolución del problema y las conclusiones finales. Los alumnos tenían la posibilidad de realizar entregas preliminares que eran analizados por los docentes [6].

En 2020 y en tiempos de aislamiento, por aquellos tiempos única arma para enfrentar a la pandemia de COVID-19 que azotó y azota nuestro país. y el mundo, para poder continuar con el dictado de de las diferentes materias, la facultad de ingeniería debió incursionar en la virtualidad. Los PA no fueron ajenos a esta nueva forma de enseñar y aprender para la UNLP, tomando como base el trabajo desarrollado en presencialidad, se le presentó a los alumnos de un grupo de física I la posibilidad de desarrollar un trabajo integrador de laboratorio. Se presentaron tres temas:

- Gravitación y Movimiento Armónico Simple.
- Dinámica rotacional.
- Dinámica de fluidos y cinemática.

De los temas propuestos, cada grupo que quiso participar de la propuesta debió elegir uno y desarrollarlo. Para este trabajo elegimos uno de los informes más representativos del primer tema, el cual analizaremos en el desarrollo

Desarrollo

Los antecedentes de este trabajo surgen de la experiencia adquirida en la presencialidad tratando de incorporar actividades desarrolladas en forma grupal por los alumnos estimulando en cada caso competencias inherentes a las diferentes ramas de la ingeniería [6]. Estas actividades se desarrollaban con el constante acompañamiento del personal docente del grupo. El proceso de

evaluación fue realizado a medida que desarrollaban las actividades propias de la experiencia, al concluir el trabajo se realizó un coloquio al grupo en general y a cada integrante del grupo en particular, A través de esta forma de evaluación por competencias, se evidenció la adquisición de saberes relacionados a la Ingeniería.

Desarrollo de la experiencia en la virtualidad

De los tres temas propuestos para trabajar en este contexto de aislamientos, se eligió el siguiente: "Medir la aceleración de la gravedad con un péndulo". Este tema, es frecuentemente utilizado en diferentes cursos de física, para afianzar temas específicos de la currícula. Particularmente, este tema, fue elegido por la simplicidad del montaje utilizando elementos hogareños. A los alumnos, se les pidió que crearan un péndulo con elementos que pudieran encontrar en su entorno, como por ejemplo monedas o una plomada de albañil, en la medida de sus posibilidades. Para medir el período del péndulo se utilizaban celulares, ya sea como cronómetro o como sensor. En el caso de los celulares que poseen sensor de proximidad, a través de la aplicación Physics Suite en modo péndulo. [7]

Desarrollo del Trabajo elegido por los alumnos

A los alumnos se les facilitó la guía de laboratorio de este tema, con la consigna de manera que, respetando algunas condiciones necesarias se pueda determinar la aceleración de la gravedad a partir de esta experiencia.

Cada grupo contaba con absoluta libertad para modificar el montaje del dispositivo, como así la adquisición y el posterior tratamiento de los datos obtenidos durante el desarrollo de la experiencia. A continuación se muestra un breve resumen de puntos relevantes de esta guía.

Péndulo Simple

Objetivos de la Experiencia
-Generar competencias de carácter colaborativo a través de medios virtuales
-Determinar el valor de la aceleración de la gravedad en la ciudad de La Plata.

Elementos Utilizados:

- Soporte.
- Hilo.
- Cuerpo esférico sujeto en el extremo del hilo.
- Celular con la app Sensor Suite para usar el Sensor de Proximidad o en modalidad cronómetro.
- Cinta métrica

El seguimiento de los alumnos por parte de los docentes, se realizó por videollamada, generando espacios de reflexión y consulta: ¿qué es medir? ¿cómo se realiza una medida directa y una indirecta? Fueron los disparadores de estos encuentros, para luego desarrollar la teoría de incertezas. También hubo consultas sincrónicas y/o asincrónicas a través de Whatsapp: la pregunta se realizaba en el grupo, y era respondida en el mismo instante por el docente o en algún momento que tuviera disponibilidad de tiempo. En estos grupos también surgían sugerencias entre pares para optimizar el desarrollo del trabajo, y se contestaban, a partir de las preguntas, dudas que pudieran ser comunes a los distintos grupos, ya sea de procedimiento o de formato de entrega de los informes.

Los diferentes grupos de alumnos desarrollaron los montajes necesarios para realizar cada una de las experiencias en función del tema elegido.

En particular, este grupo, realizó un análisis previo de la situación planteada y mediante un CAD esquematizaron distintas opciones para solucionar el problema presentado. En esta instancia del proyecto, se realizaron diferentes modificaciones para optimizar el diseño que fueron verificadas mediante dibujos en dicho CAD.

Al obtener un diseño consensuado por todos los integrantes del grupo, se procedió al armado del montaje y la posterior realización de la experiencia.

En la Figura 1 se muestra uno de los dibujos realizados durante esta etapa de diseño.

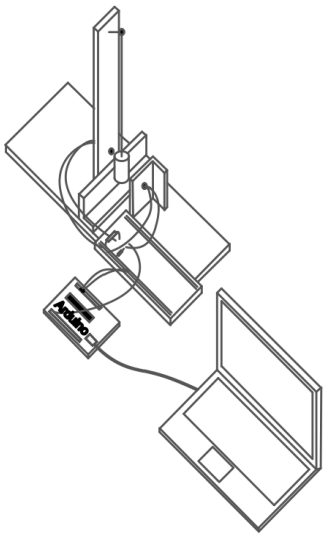


Figura 1

Para medir los períodos, en la presencialidad se utilizaron cronómetros u otros elementos similares, este grupo armó una barrera infrarroja (led emisor infrarrojo - diodo receptor infrarrojo) Figura 2 y una pequeña electrónica para asegurar el óptimo funcionamiento de cada uno de los componentes. Esta barrera fue conectada a una placa Arduino UNO que fue la encargada de registrar los tiempos entre las reiteradas interrupciones de haz infrarrojo, las cuales están directamente relacionadas con el período de la oscilación.

En el informe presentado por los alumnos se fueron mostrando los diferentes estadíos durante el desarrollo del trabajo. En la figura 3 se muestra la tabla con los datos crudos que iba armando el software que estaba corriendo en el microprocesador del Arduino a medida que se desarrollaba la experiencia.

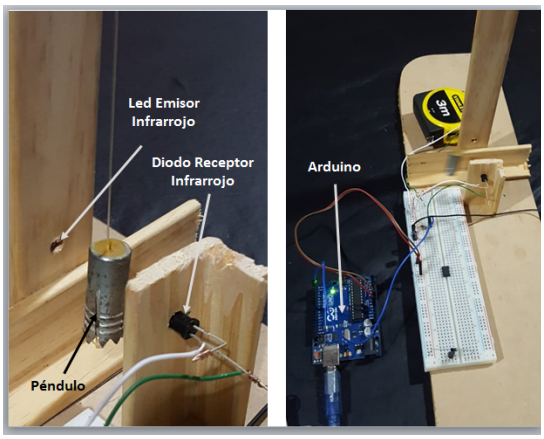


Figura 2

```
PER:  740.608  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  747.008  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  740.480  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  747.328  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  740.800  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  747.584  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  741.312  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  746.560  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  740.544  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  747.584  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  740.224  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  747.072  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  740.288  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  746.432  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  740.544  milisegundos evento hw (péndulo)
PER:  746.880  milisegundos evento hw (péndulo)
```

Figura 3

Para procesar estos datos utilizaron una hoja de cálculos determinando valores intermedios, como se muestra en la figura 4 hasta llegar a obtener el valor del período con su respectiva incerteza.

Luego de interactuar con los docentes, los alumnos adoptaron diferentes formas de procesamiento de datos orientadas a minimizar la incertidumbre del resultado final, una de ellas fue: ir promediando valores de magnitudes intermedias, como se muestra en la hoja de cálculo, de la figura 5 en la misma, se muestra la tabla final presentada donde se puede observar el resultado final, valor de la aceleración de la gravedad con su incertidumbre, como así diversos valores intermedios que caracterizan a la experiencia y de ser reproducida permiten realizar un seguimiento de la correcta reproducción.

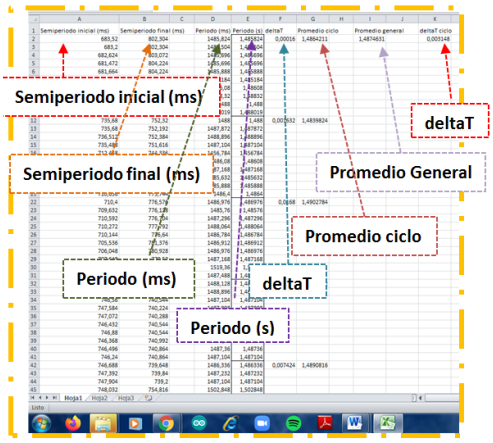


Figura 4

Longitud: $L^* = L + \Delta L = 0.553\ m \pm 1\ mm$ $= 533\ mm \pm 1\ mm$			
Nro de medida	$T_1 = 1.48642$	$T_i \pm \Delta T_i$	1.48642 ± 0.00016
	$T_2 = 1.48398$		1.48398 ± 0.00163
	$T_3 = 1.49027$		1.49027 ± 0.01680
	$T_4 = 1.48755$		1.48755 ± 0.00089
	$T_5 = 1.48908$		1.48908 ± 0.00742
Promedio		$T^* = 1.48746$	
Incertezas		$\Delta T = 0.00314$	
Periodo		$T = 1.48746 \pm 0.00314$	
Gravedad		$g^* = 9.86716\ m/s^2$	
Incertezas		$\Delta g = 0.05967$	
Resultado		$g = 9.86716 \pm 0.05967\ m/s^2$	
Exactitud		$E\% = 99.38\%$	

Figura 5

Conclusiones

Durante el contexto de aislamiento se pudo continuar con las actividades desarrolladas en la presencialidad con el objetivo de estimular las diferentes competencias individuales y grupales de los alumnos, adaptando las mismas a las herramientas virtuales disponibles.

En este marco, las herramientas virtuales que, en presencialidad son prescindibles o muy poco utilizadas (whatsapp, google doc, meet, zoom, etc), permitieron interactuar colaborativamente en forma remota.

Los alumnos lograron llevar adelante una tarea grupal interactuando con sus pares y sumando competencias a su formación que serán de gran importancia en la actividad profesional individual y/o grupal de los futuros ingenieros. Esta experiencia, permitió profundizar los contenidos de la materia y aplicarlos a un hecho concreto. Esto se vio reflejado en el coloquio final como así también en las conclusiones del trabajo.

El desarrollo de esta actividad, permitió modelar la situación presentada e implementar el modelo de una experiencia real. Los alumnos que participaron en el trabajo presentado, lo hicieron colaborativamente tanto entre ellos como con el docente a través de medios virtuales. Ellos diseñaron su propio dispositivo de montaje, que validaron mediante la utilización de un CAD. Luego, previo a la realización de la experiencia, implementaron un dispositivo que les permitió conocer el periodo basado en la plataforma Arduino,esto hizo que los alumnos trabajen no solo en contenidos de la materia, sino que también los integren con programación, habilidad manual para desarrollar el hardware del dispositivo que crearon para la medición, también en programación del Arduino, tratamiento de incertezas y contenidos dados en clase.

Luego de analizar el informe presentado, cabe destacar que los resultados finales presentados por los alumnos tienen un gran número de cifras significativas, tema que fue trabajado con los docentes (posterior a la aprobación) visualizando que la cantidad de cifras está directamente relacionada con el error de los instrumentos utilizados para realizar las medidas y con la metodología utilizada en el procesamiento de datos. Del mismo modo, se trabajó sobre el tema propagación de incertezas, junto con los docentes y los alumnos en el coloquio final, con el objetivo de indicar en forma correcta los resultados presentados en futuros informes que el alumno (futuro profesional) deba realizar.

El personal docente quedó más que conforme, al poder llevar a cabo actividades virtuales incorporando competencias, y estimulado para seguir adelante en la formación de futuros ingenieros utilizando nuevas herramientas educativas, el trabajo desarrollado, en el contexto de virtualidad, obtuvo resultados similares a los obtenidos en trabajos realizados en presencialidad.

Referencias

[1] Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) (2018). Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina. Universidad FASTA.

[2] Natali O., Alaniz Andrada H, Duran G.(2018) “Problemas Abiertos, Innovación en la Enseñanza de la Termodinámica en las Carreras de Ingeniería”, IV Congreso de Ingeniería - X Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería.

[3] Calderón Salas, M. (2011). Aprendizaje Basado en Problemas. Resumen

[4] El Enfoque por Competencias en las Ciencias Básicas, Casos y Ejemplos en Educación en Ingeniería ISBN 978-987-4998-16-3

[5] Nuñez Lopez S., Enrique J., Olivares S. L. (2017) “El desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes universitarios por medio del Aprendizaje Basado en Problemas” Revista Iberoamericana de Educación Superior, vol. VIII, núm. 23, pp. 84-103

[6] Moreno Yalet N. y Devece E. (Mayo de 2020). “Experiencia de dilatación lineal”, Conferencia presentada en la VII Jornada Nacional y III Latinoamericana de Ingreso y Permanencia en Carreras Científico - Tecnológicas. Edición Virtual.

[7] Devece E., Torroba P. L. Gallego Sagastume J. I., Hariyo M., Aquilano Pereyra L. (2016)“Usemos el Celular en el Aula” III Congreso Argentino de Ingeniería - IX Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería.

MATEMÁTICA Y FÍSICA. ACTIVIDADES DE ARTICULACIÓN EN LA VIRTUALIDAD.

Trípoli, María M.[1] y Torroba, Patricia L.[1]
[1] Unidad de Investigación en Metodologías alternativas para la enseñanza de las ciencias - UIDET IMApEC – Departamento de Ciencias Básicas – Facultad de Ingeniería – UNLP - 1 y 47, La Plata – Bs As. - Argentina
mercedes.tripoli@ing.unlp.edu.ar, patricia.torroba@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: articulación, virtualidad, matemática, física

1. Introducción

Hace unos años comenzamos a trabajar en el diseño e implementación de estrategias que colaboren con los estudiantes en la articulación de notaciones y lenguajes, así como en aplicar herramientas y conocimientos previos en nuevos contextos. La tarea que venimos realizando se enmarca en el Proyecto de Investigación y Desarrollo Acreditado, de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP): “Articulación en la enseñanza de las Ciencias Básicas en carreras de Ingeniería”, mediante el cual reflexionamos sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje que llevamos a cabo en las aulas de física y matemática, con alumnos de ingeniería (Devece y otros, 2015; Torroba y otros, 2016, 2017, 2019; Trípoli y otros, 2019)

En este trabajo relatamos dos actividades áulicas de articulación, entre las áreas de matemática y física. Las mismas fueron desarrolladas durante el primer semestre de este año, en una comisión de Matemática A, con la presencia de una docente de Física I. En una de ellas, los temas vinculados fueron los Movimientos Rectilíneos Uniforme y Uniformemente Variado (MRU y MRUV) con las expresiones matemáticas y las gráficas correspondientes. En la segunda actividad, trabajamos relacionando el Movimiento Armónico Simple (el MAS) con las funciones circulares (trigonométricas). En ambos casos, se les asignó sentido físico a las constantes involucradas en dichas funciones.

2. MRU y MRUV

La experiencia relacionada al MRU y al MRUV, consistió en dos etapas: 1) un encuentro mediante videoconferencia, y 2) una actividad para que realicen los estudiantes con los conceptos vistos en el encuentro. Los alumnos tuvieron una invitación formal en donde les informamos sobre el mismo, el cual lo realizamos en horario de clases de Matemática A.

La gran mayoría de los alumnos que cursan dicha asignatura estudiaron en la escuela media las ecuaciones de cinemática vinculadas con el MRU y el MRUV. En el momento en que realizamos la experiencia, los estudiantes ya habían trabajado en matemática con las funciones polinomiales, en particular con las funciones constantes, lineales y cuadráticas, y sus respectivas gráficas, necesarias para abordar el tema de los movimientos propuestos. A su vez, se les había presentado el MRU como ejemplo de un modelo lineal.

La clase la realizamos mediante la plataforma Zoom. La profesora de física contaba con una pizarra en su casa (Figura 1), y así podía compartir lo que iba desarrollando para que los estudiantes puedan seguir la charla. La clase resultó dialógica, en el sentido de darle la voz no sólo a las docentes sino también a los estudiantes, y hubo un continuo ida y vuelta entre las docentes de ambas asignaturas, ayudando a la vinculación de notaciones y lenguajes propios de cada disciplina. Asimismo, trabajamos de manera de asignarle significado físico a las magnitudes cinemáticas involucradas y cerramos el encuentro con un ejemplo concreto de aplicación del MRUV.

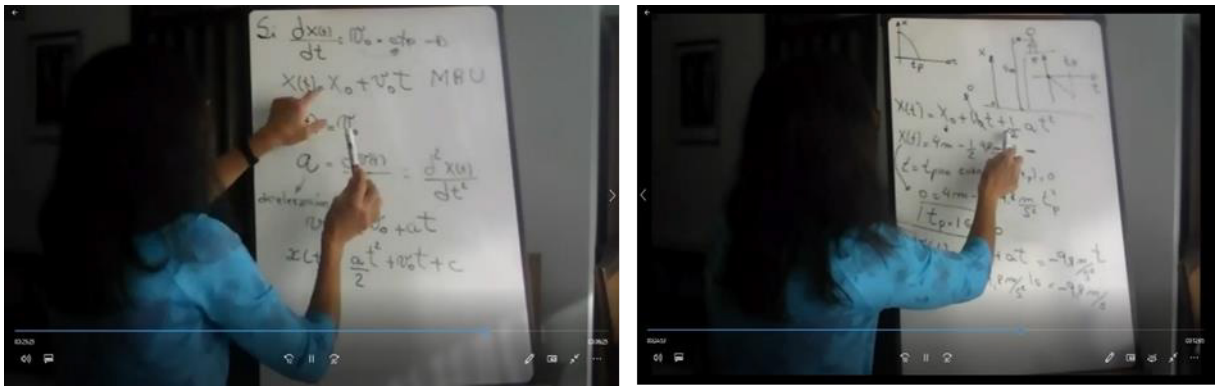


Figura 1. Dos momentos de la clase

Las expresiones con las que trabajamos (y sus respectivas gráficas), corresponden a la posición de un móvil en función del tiempo que describe un MRUV, una función cuadrática, dada por $x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2$, donde x_0 es la posición inicial del cuerpo, v_{0x} es la velocidad inicial y a_x es la aceleración que debe ser constante. Y a la velocidad, una función lineal, dada por: $v_x = v_{0x} + a_x t$, donde ambas relaciones están fuertemente vinculadas a la elección de la ubicación del sistema de coordenadas.

Estas expresiones, a pesar de ser conocidas por los estudiantes, no están escritas de la forma habitual que aparece en matemática, por lo que los ayudamos en la vinculación correspondiente.

La actividad que les propusimos realizar en la segunda etapa, consistió de tres ejercicios para que desarrollen en forma grupal. Finalmente, les solicitamos a los estudiantes que respondieran una encuesta para conocer su opinión sobre la clase realizada.

2.1 Actividad realizada por los estudiantes

Los alumnos trabajaron en forma grupal, siendo ocho los grupos de trabajo armados. En cuanto al primer ejercicio, a partir de la descripción de varios movimientos (MRU) debían identificar sus representaciones gráficas de la posición en función del tiempo. En el segundo ejercicio, el objetivo estuvo centrado en construir los gráficos de posición, velocidad y aceleración en función del tiempo en base a la información dada sobre las condiciones iniciales del movimiento, posición y velocidad. En el tercer ejercicio, tenían que reconocer en el enunciado ciertos datos y emplearlos en la función lineal de la velocidad para determinar la aceleración.

En general, resolvieron bien el primer ejercicio, algunos de los grupos no justificaron por qué realizaron sus elecciones (característica común que se observa en los ejercicios a pesar de pedirlo explícitamente), entonces no se puede inferir qué conceptos tuvieron en cuenta para realizar las elecciones. De los dos grupos que fundamentaron sus elecciones, se puede observar que relacionaron el valor de la pendiente de la recta con el concepto de velocidad constante. Esta relación se había trabajado en las clases de Matemática A, por lo que entendemos que no resultó nuevo para los estudiantes.

Con relación al segundo ejercicio, es en el que más errores de resolución mostraron. Por un lado, la notación que aparece no es la habitual que trabajan en matemática, y además, dada las consultas que recibimos, no se acordaban qué representaban las constantes x_0 y v_0. En cuanto a la relación entre aceleración, velocidad y posición fue tratada en el encuentro, pero puede ser que se necesite un tratamiento más profundo del tema, ya que dichas variables están relacionadas a través de la derivada.

El tercer ejercicio, la totalidad de los estudiantes lo hicieron en forma correcta.

2.2 Opinión de los estudiantes

La encuesta consistió en un formulario de Google. Los estudiantes tuvieron dos días para responder la misma. Aunque casi la totalidad (58) de los alumnos inscriptos en la comisión, participaron del encuentro, 38 completaron la encuesta. En las preguntas, que tenían algunas opciones para marcar de acuerdo a las mismas, se les pidió que justificaran sus respuestas.

Con respecto a si pudieron seguir la clase, 30 alumnos dijeron que si, mientras los 8 restantes respondieron que más o menos. Entre las argumentaciones dadas por los estudiantes, algunos manifestaron perderse un poco al comienzo, pero luego pudieron engancharse; en otros casos el problema lo tuvieron más hacia el final y un estudiante consideró que hubiese sido necesario explayarse un poco más.

La mayoría de los estudiantes manifestó haber estudiado tanto el MRU como el MRUV en la escuela media. Esto es importante ya que la clase estuvo pensada para recuperar lo estudiado por ellos en la escuela media, lo que permite que puedan seguir la charla. Sólo dos de los estudiantes comentaron que no pudieron vincular los temas de matemática con conceptos físicos. Con respecto si a los estudiantes les pareció un tema interesante, 35 dijeron que si y 3 que no sabían.

En cuanto a si les parece importante que se realicen clases en Matemática A en las que puedan vincular la matemática con situaciones concretas como las que estudiarán en otras áreas, como lo es la física, 36 estudiantes dijeron que si mientras los dos restantes no lo consideraron importante. En esta pregunta, que ya la hemos hecho en otras oportunidades, las respuestas suelen ser positivas, pero en general, los estudiantes no se explayaban en su justificación como lo hicieron en esta oportunidad (al igual que en las respuestas anteriores). Posiblemente el hecho de dejarles la encuesta en un formulario que ellos lo pueden contestar cuando puedan y con más tiempo, y no en la clase presencial, en donde les dábamos unos minutos para hacerlo, haya influenciado.

Por último, en cómo influyó el hecho de realizar esta actividad en la virtualidad, hubo varias opiniones, pero en general consideraron que no habría diferencia con la presencialidad, que, además, no conocen cómo se desarrolla.

3. El MAS y las funciones circulares

En este caso, la experiencia consistió sólo en un encuentro por videoconferencia, también en una clase de Matemática A. Aunque se realizó en horario de clases, no se hizo en las semanas regulares de cursada, sino en una de las semanas correspondientes a la toma de exámenes, una vez que rindieron la primera fecha del primer parcial. Dado que los estudiantes están preocupados por prepararse para rendir el parcial, es que decidimos invitarlos a participar de la propuesta luego de rendir dicho examen. Los alumnos recibieron una invitación formal en donde se les informaba sobre el encuentro. A la clase, que se realizó por Zoom, asistieron alrededor de 40 estudiantes, lo que mostró un interés por la propuesta.

El propósito de este encuentro fue proporcionarles herramientas a los estudiantes para que vinculen las funciones circulares o trigonométricas, en particular las funciones seno y coseno, así como las constantes involucradas:

$$f(x) = Asen(wx + C) \quad \text{o} \quad g(x) = Acos(wx + C) \qquad (1)$$

con alguna situación física concreta, como el movimiento de un sistema masa-resorte o el de un péndulo, que, bajo ciertas condiciones, se denomina movimiento armónico simple (MAS).

La articulación tiene en común que el MAS se expresa mediante relaciones como las mencionadas en (1). Los conceptos involucrados en el tratamiento de este movimiento, resultan ser el primer nivel de entendimiento para otros sistemas más complejos. En cuanto a las funciones circulares o trigonométricas, como ya mencionamos, son parte de los contenidos de Matemática A y se estudian antes del primer parcial.

En la experiencia que habíamos realizado oportunamente en la presencialidad (Trípoli y otros, 2019) trabajamos con un sistema masa-resorte y un péndulo simple, un sensor de posición y una interface. El objetivo de la experiencia fue representar, mediante la toma de datos del sensor a tiempo real, las posiciones de los cuerpos en función del tiempo. Para reemplazar estas herramientas, utilizamos simuladores que existen en la web. En el caso del sistema masa-resorte, utilizamos dos simuladores (https://www.fisicalab.com/apartado/concepto-oscilador-armonico, https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs-basics/latest/masses-and-springs-basics_es.html). Con el primero de ellos (Figura 2), los estudiantes pudieron observar cómo el resorte, al apartarlo de su posición de equilibrio, produce un movimiento cuya gráfica de la posición en función del tiempo es conocida por ellos (seno o coseno).

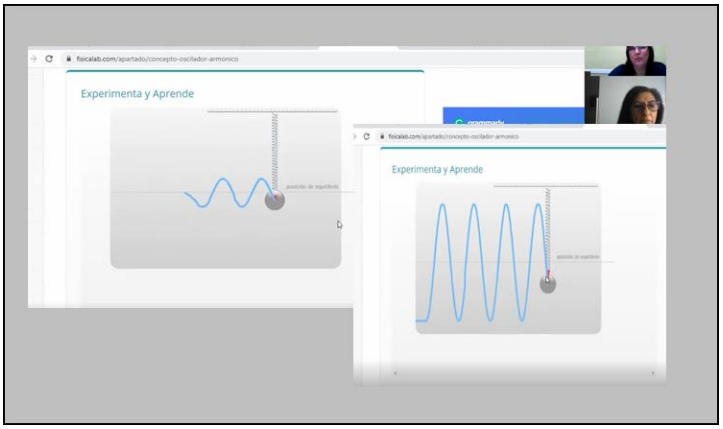


Figura 2. Simulación que relaciona el MAS y función seno o coseno

Con la segunda simulación, pudieron observar cómo, modificando la masa y/o la constante del resorte, se modifican las constantes involucradas en las fórmulas (1). Para esto la profesora de física explicó en forma sintética algunas características del sistema físico utilizado (Figura 3), para que los estudiantes puedan ver el sentido físico que tienen estas constantes.

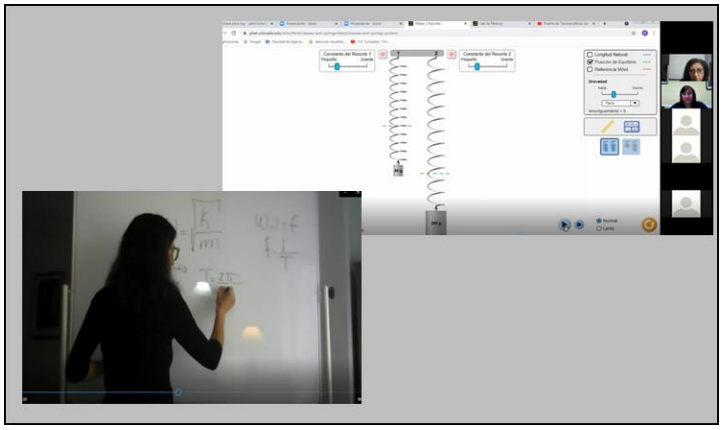


Figura 3. Simulación sistema masa-resorte y explicación en el pizarrón

En el caso del péndulo simple, utilizamos una sola simulación (https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_es.html), que, al igual que antes, luego de una explicación breve, los estudiantes pudieron darles sentido físico a las constantes involucradas.

En esta oportunidad, también se les pidió a los estudiantes que nos dieran por escrito en un formulario Google, sus comentarios relacionados con la actividad desarrollada.

3.1 Opinión de los estudiantes

Veintiséis estudiantes escribieron sus comentarios, algunos se extendieron más, mientras otros se expresaron con una pequeña oración. Todos consideraron la realización de la clase de manera positiva. En general, destacaron el uso de las simulaciones, mencionaron que ayudaron mucho a la explicación y hasta dijeron considerarlas esenciales. Dos de las palabras que utilizaron para describir la clase fue entretenida y dinámica.

En cuanto al tiempo de duración, que casi fue de una hora y media, las opiniones estuvieron divididas. Algunos consideraron que estuvo bien, por haber sido llevadera y entenderse los conceptos mencionados, mientras otros, dijeron preferir que el tiempo sea menor. De hecho, hasta agradecieron que no nos hayamos extendido más.

En la Figura 4 se muestran, a manera de ejemplo, seis de las opiniones brindadas por los estudiantes.

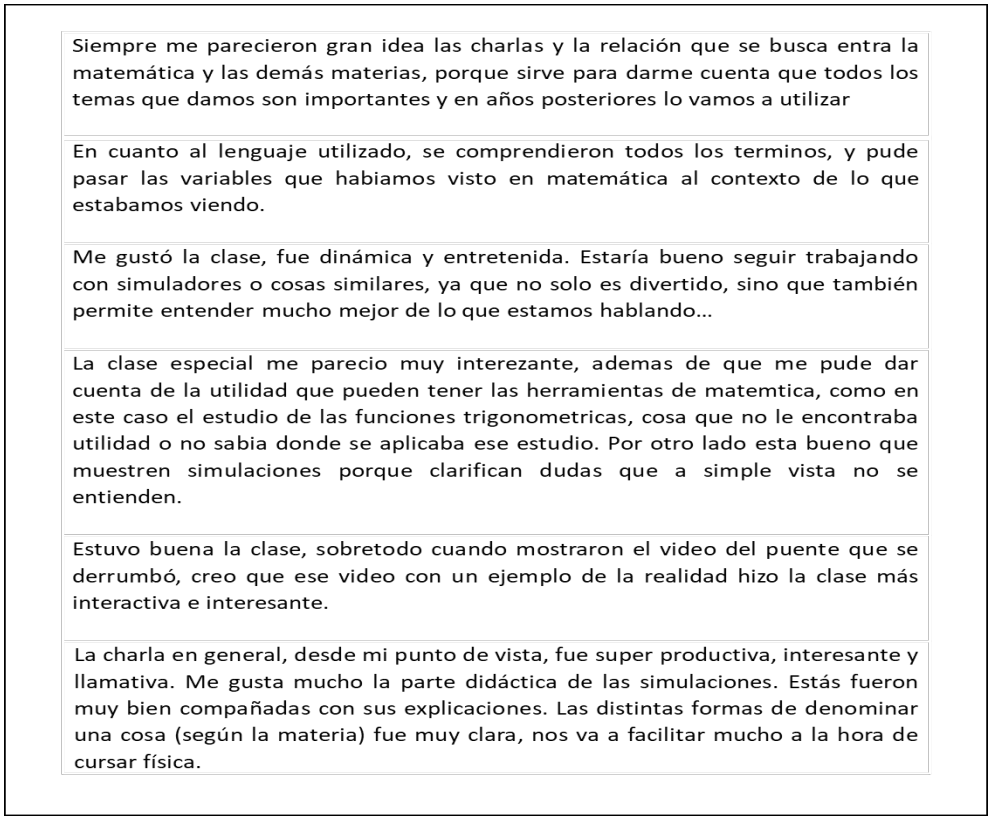


Figura 4. Algunas opiniones de los estudiantes con respecto a la clase del MAS

Conclusión

Estos alumnos, como los que participaron en encuentros anteriores de manera presencial, siguen afirmando que les resultan muy beneficiosas y entretenidas estas actividades. Los

comentarios de los estudiantes que participaron de las actividades en la virtualidad, transmiten que este tipo de actividades les resultan interesantes porque encuentran una aplicación directa de la matemática a situaciones reales concretas, mostrando ejemplos de la importancia de su estudio en la formación del ingeniero.

En la segunda actividad, además de vincular temas de ambas asignaturas, incluimos simulaciones que permitieron "visualizar" el comportamiento de los sistemas físicos y facilitar su entendimiento. Esto resultó motivador en los alumnos, ya que sugerían modificar algunas de sus propiedades, predecir su comportamiento en las nuevas condiciones y finalmente contrastarlo con la simulación para validar o no la predicción.

En la primera actividad abordamos los temas desde un punto de vista más bien teórico. Se resolvió un ejercicio, pero no pudimos incorporar una actividad experimental con uso de TIC. Habíamos organizado hacerlo desde las instalaciones de la Facultad, pero cerró nuevamente. Esta ausencia se reflejó en un menor entusiasmo en los estudiantes en relación a la segunda actividad que sí la tuvo.

Consideramos que, a pesar de no contar con los elementos que la presencialidad permite que tengamos, pudimos seguir trabajando con el objetivo de brindar a los estudiantes herramientas que los ayuda en la vinculación de ambas disciplinas y en reconocer a la matemática como necesaria en su formación como ingenieros, mostrándole una aplicación real concreta.

Bibliografía

Devece, E., Di Domenicantonio, R., Torroba, P. y Trípoli, M. (2015). Experiencia de articulación entre Matemática A y Física I, en Actas de las *IV Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación*. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata. 28-30 octubre de 2015. La Plata

Torroba, P., Devece, E., Trípoli, M. y Aquilano, L. (2016). Una propuesta didáctica que articula contenidos de matemática y física. *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol. 28, Número Extra: Selección de Trabajos presentados a SIEF, pp. 91-99.

Torroba P., Trípoli, M., Devece, E. y Aquilano, L. (2017). Magnitudes vectoriales: una propuesta didáctica para articular matemática y física. *Revista de la enseñanza de la Física*. Vol. 29, Número Extra: Selección de Trabajos presentados a REF, pp. 305-313.

Torroba P., Trípoli, M., Devece, E. y Aquilano, L. (2019). Implementación de una propuesta sobre vectores, para articular matemática y física, con uso de TIC y actividad experimental. *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol. 31, Número Extra: Trabajos REF, pp. 699-705.

Trípoli, M., Torroba P., Devece, E. y Aquilano, L. (2019). Funciones trigonométricas, periódicas y oscilatorias: una propuesta de trabajo interdisciplinario. Libro Digital "*5tas. Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería*". 9, 10 y 11 de abril de 2019. Facultad de Ingeniería. UNLP, pp. 166-171. ISBN 978-950-34-1749-2. https://www.ing.unlp.edu.ar/articulo/2018/9/18/jornadas_ite_2019

FOTÓLISIS Y CINÉTICA DE ALGUNOS HIPONITRITOS SALINOS CON RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Chacón Villalba, M. Elizabeth[1,2,3]; Castañeda Trujillo, L. Diana[1], Mártire Daniel O.[4] Güida, Jorge A. [1,2,5]

[1] Centro de Química Inorgánica (CEQUINOR), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Boulevard 120 Nº1465, La Plata.
[2] Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería; UNLP.
[3] Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA)
[4] Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), UNLP.
[5], Departamento de Ciencias Básicas; Universidad Nacional de Luján, Rutas 5 y 7 Luján.
Contacto: guida@quimica.unlp.edu.ar

Palabras clave: fotólisis, irradiación UV, cinética, espectroscopia de infrarrojo, hiponitrito.

INTRODUCCION

La investigación sobre compuestos fotoactivos que pueden ser usados en terapia fotodinámica ha adquirido relevancia recientemente [1]. Complejos conteniendo grupos nitrosilos, hiponitritos y compuestos orgánicos capaces de liberar esas y otras moléculas, relevantes desde el punto de vista fisiológico, son ejemplos que pueden ser usados potencialmente en esos tratamientos.

Dentro de la línea de investigación de nuestro grupo se estudió el complejo binuclear: $[(NH_3)_5CoN(O)NOCo(NH_3)_5]^{+4}$ [2]. Posteriormente se identificaron mediante medidas de infrarrojo los productos de fotólisis (entre las que se encuentra el óxido nitroso) irradiando las muestras sólidas con luz de longitud de onda de 253,7 nm [3]. Estos resultados, sin embargo, contrastan con los encontrados por otros autores, quienes reportan que la fotólisis de una suspensión acuosa de hiponitrito de plata genera óxido nítrico por radiación con luz ultravioleta.[4]

En el presente trabajo se estudia la fotólisis de los hiponitritos de sodio, plata, talio y plomo(II) a temperatura ambiente en el estado sólido, con la luz proveniente de una lámpara de mercurio de baja presión que emite principalmente radiación de 253,7 nm de longitud de onda. La energía de esta radiación es muy próxima a la banda de absorción electrónica característica del anión hiponitrito ($n \rightarrow \pi^*$), que en solución alcalina, aparece con máximo en 248 nm. Además, se presentan las cinéticas de descomposición fotoquímica de estos hiponitritos salinos al estado sólido, que son monitoreadas mediante la espectroscopia de infrarrojo.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Parte experimental

Preparación de los hiponitritos: sobre una solución de hiponitrito de sodio ($Na_2N_2O_2.H_2O$, Aldrich) se agregaron, gota a gota cantidades equimolares de nitrato de plata, talio o plomo(II). Se formaron precipitados que fueron separados por filtración y lavados posteriormente con agua destilada. Para identificar los productos de fotólisis gaseosos se compararon los espectros de infrarrojo del gas obtenido, contenido en una celda para gases (especialmente diseñada para este fin), con el proveniente del óxido nitroso medicinal comercial (AGA Linde Healthcare). Los espectros obtenidos se compararon con los reportados en los catálogos Sadtler y los de la referencia [5].

Resulta conveniente efectuar los estudios cinéticos de las fotólisis de los hiponitritos salinos en el estado sólido, debido a que en solución acuosa el anión hiponitrito se mantiene en equilibrio con el ácido hiponitroso, que a su vez sufre descomposición a temperatura ambiente.

La Figura 1 compara las disposiciones cis y trans del anión hiponitrito con la del ácido hiponitroso.

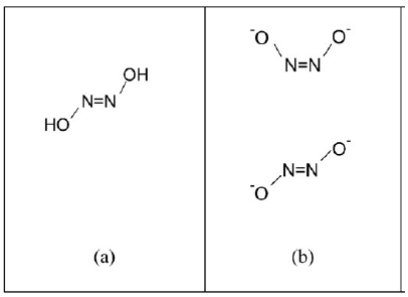


Figura 1. Disposición geométrica del ácido hiponitroso **(a)** y conformaciones cis y trans de los aniónes hiponitrito **(b)**

Estudio espectroscópico: Los espectros de infrarrojo se midieron en un espectrofotómetro FTIR Bruker EQUINOX 55 entre 4000 y 400 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1}.

Irradiación de las muestras:

La fotólisis de los hiponitritos de sodio, plata, talio y plomo(II) se llevaron a cabo con las de dos maneras diferentes:

1) Para detectar los productos gaseosos formados se armó un dispositivo consistente en un tubo de cuarzo que contiene la muestra sólida en vacío, conectado a una celda para gases con ventanas de KBr, preparada para la medida de espectros de infrarrojo. Los espectros IR se tomaron a distintos tiempos de irradiación con la muestra “in situ”.

2) Se preparó una pastilla del hiponitrito diluido en bromuro de potasio, como suele hacerse para las medidas de espectros de infrarrojo. La irradiación se realizó al aire con luz proveniente de una lámpara de mercurio de baja presión (λ = 253,7 nm).
La muestra así preparada fue medida en el espectrómetro de infrarrojo indicado arriba (espectro de referencia inicial). Luego la muestra fue irradiada durante un cierto tiempo. Después de cada período de irradiación la luz de la fuente fue desconectada mientras se midió la muestra nuevamente. Como en 1) se siguió la evolución del proceso tomando espectros de infrarrojo a diferentes tiempos de irradiación (generalmente minutos). En el caso del hiponitrito de plata se observó el ennegrecimiento del sólido irradiado (puro o diluido en KBr).

La Tabla 1 reúne las posiciones de las bandas y las asignaciones correspondientes al ligando puente del complejo binuclear de cobalto ($[(NH_3)_5CoN(O)NOCo(NH_3)_5]Br_4$) en: 1391, 1124, 1033 y 916 cm^{-1} [2] y del anión hiponitrito en las sales de sodio, plata talio y plomo(II). Se considera que las bandas de estiramiento NO en los hiponitritos aparecen en orden decreciente de la siguiente manera: $Na_2N_2O_2 > Ag_2N_2O_2 > PbN_2O_2 > Tl_2N_2O_2$ debido a efectos de red.

	Ligando Puente: $[N(O)NO]^{2-}$	Anión Hiponitrito $[ONNO]^{2-}$			
Asignación	Complejo de Co	$Na_2N_2O_2$	$Ag_2N_2O_2$	PbN_2O_2	$Tl_2N_2O_2$
ν(NN)	1391				
ν(NO) $_{antisim.}$	1124	1020	998	978	950
δ(ONNO) $_{antisim.}$	1033				
ν(NO) $_{sim.}$	916				
δ(ONNO) $_{sim.}$	600				

Tabla 1. Números de onda para las vibraciones ν(NO) del anión hiponitrito en las sales de sodio, plata, plomo(II), talio y las vibraciones en el ligando puente del complejo binuclear $[(NH_3)_5CoN(O)NOCo(NH_3)_5]Br_4$.

En la Figura 2 se grafica una porción del espectro de infrarrojo de las muestras de hiponitrito de sodio, plata, talio en pastillas de bromuro de potasio, antes y después de la irradiación con luz ultravioleta de longitud de onda de 253,7 nm.

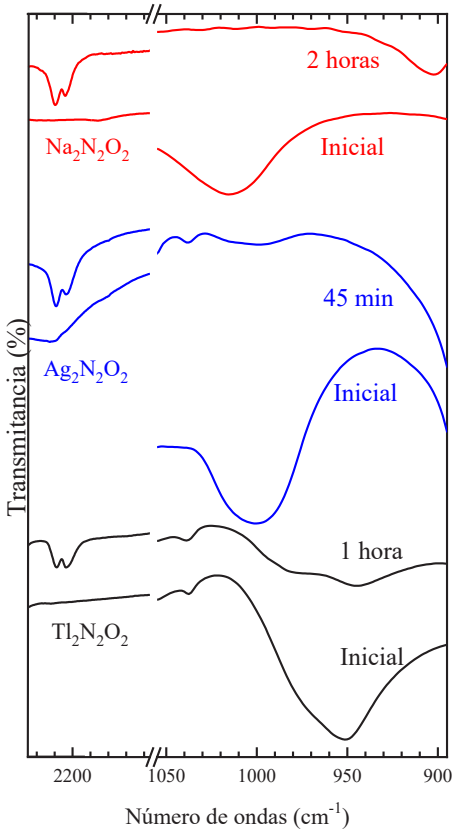


Figura 2. Espectros de infrarrojo de los hiponitrito de sodio, plata y talio antes y después de la irradiación con luz de λ= 253,7 nm**, (a)** $Na_2N_2O_2$, **(b)** $Ag_2N_2O_2$, **(c)** $Tl_2N_2O_2$

Puede observarse cómo las bandas de estiramiento NO del ion hiponitrito (que se ubican, según el contracatión, entre 950 y 1000 cm^{-1}) desaparecen con el incremento del tiempo de irradiación mientras que, simultáneamente, se observa la formación de dos bandas débiles centradas a 2230 cm^{-1} entre 2240 y 2216 cm^{-1} que son características del estiramiento ν(NN) del óxido nitroso [5]. Es interesante resaltar que parte del óxido nitroso gaseoso queda atrapado en sistema sólido como lo demuestra la aparición de la banda de ese gas en aproximadamente 2230 cm^{-1}.

Se efectuaron experiencias tendientes a dilucidar si el óxido nitroso queda atrapado en la red de los microcristales de hiponitrito de plata, sodio, talio y plomo o queda en la red de bromuro de potasio.

Para ello se formaron diferentes pastillas de las muestras de los hiponitritos con distintos haluros alcalinos. En la mayoría de ellos no se detectaba el óxido nitroso. En consecuencia, se propone que el óxido nitroso puede quedar atrapado entre los microcristales de bromuro de potasio por largo tiempo (de hasta meses). Por otro lado, al moler la pastilla irradiada y volver a formar la pastilla nuevamente el óxido nitroso desaparece completamente, como indica el espectro de infrarrojo correspondiente.

También se hizo la experiencia de variar la presión con que se forman las pastillas de la muestra con el bromuro de potasio, encontrándose que la cantidad del óxido nitroso retenida es independiente de la presión ejercida.

La formación de óxido nitroso a consecuencia de la iluminación con luz UV se confirmó en una segunda experiencia (ver punto 1 de *Irradiación de muestras*) irradiando los hiponitrito dentro de un tubo de cuarzo conectado a una celda para gases, adaptada para la medida de espectros de infrarrojo. Los espectros obtenidos en la celda para gases reproducen el publicado en catálogos Sadtler y la referencia [5].

En base a los resultados obtenidos se propone la siguiente reacción general para la fotólisis de los hiponitritos estudiados:

$$M_2N_2O_2\,(s) \longrightarrow M_2O(s) + N_2O(g)$$

$$M_2O(s) + CO_{2(atmosférico)} \longrightarrow M_2CO_3(s)$$

$$M_2N_2O_2\,(s) + CO_{2(atmosférico)} \xrightarrow{h\nu} M_2CO_3(s) + N_2O(g) \quad (M = Na, Tl, Ag)$$

Cinética de descomposición fotolítica

Las curvas cinéticas para la descomposición de los hiponitritos de sodio y talio fueron calculadas a partir de las áreas de las bandas de infrarrojo (ν(NO) del anión hiponitrito) a diferentes tiempos de irradiación (λ= 253,7 nm). Cada punto de las curvas cinéticas representa la intensidad de la banda infrarrojo del ν(NO) después de un tiempo de irradiación. El procedimiento de la toma de espectros a diferentes tiempos fue detallado en la parte experimental.

Las Figuras 3 y 4 reproducen las cinéticas de descomposición de los hiponitrito de sodio y talio, respectivamente en función del tiempo de irradiación de las muestras sólidas dispersadas en una matríz de KBr.

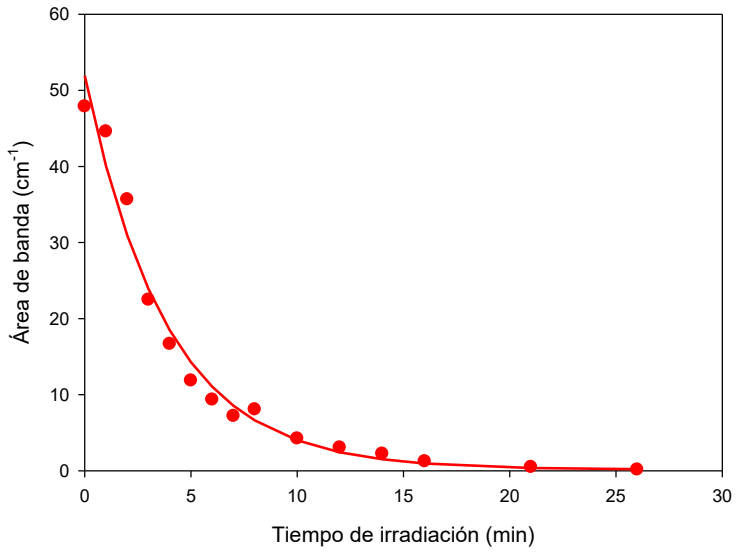


Figura 3: Cinética de descomposición del $Na_2N_2O_2$ en función del tiempo de irradiación con luz proveniente de una lámpara de mercurio de baja presión (principalmente λ= 253,7 nm)

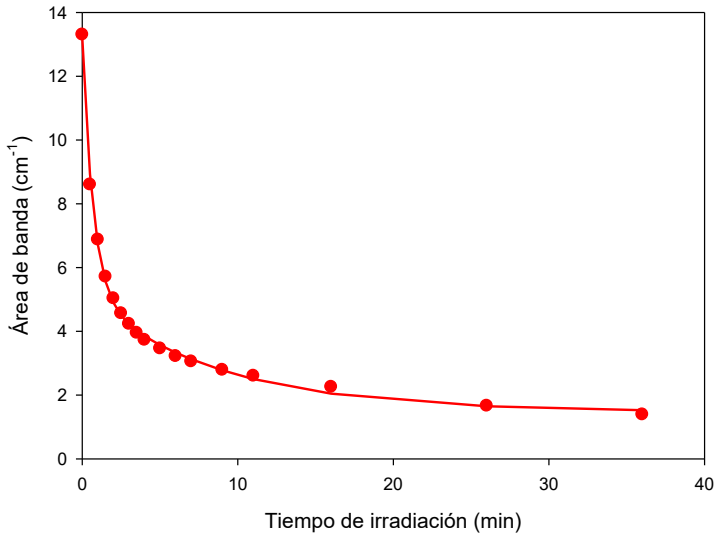


Figura 4: Cinética de descomposición del $Tl_2N_2O_2$ en función del tiempo de irradiación con con luz proveniente de una lámpara de mercurio de baja presión (principalmente λ= 253,7 nm).

El decaimiento de la intensidad de la banda ν(NO) del hiponitrito de sodio fue ajustada usando la función exponencial $y=y_0+a.e^{-kt}$, con a=51.8 ± 2.2 cm^{-1} y k= 0.26..± 0.03 min^{-1}. Para el hiponitrito de talio el decaimiento de la señal se ajustó a la función biexponencial $y=y_0+a.e^{-k_1t} + b.e^{-k_2t}$ con a=7.97 ± 0.29 cm^{-1}, k_1=1.43 ± 0.10 min^{-1}, b=3.77 ± 0.23 cm^{-1} y k_2=0.118 ± 0.018 min^{-1}.
Los ajustes encontrados muestran que el decaimiento del área de la banda ν(NO) sigue un **ley de primer orden para el hiponitrito de sodio, siendo el mecanismo de reacción más** complejo para el hiponitrito de talio.

CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió las fotólisis y las cinéticas de descomposición fotolítica de los hiponitritos de sodio, plata, talio y plomo(II). Se usó la espectroscopia de infrarrojo para identificar los productos de la reacción. A causa de la irradiación con luz ultravioleta (λ= 253,7 nm) se encontró que los hiponitritos salinos se descomponen en óxido nitroso gaseoso y los óxidos del contracatión. Estos últimos reaccionan rápidamente con el dióxido de carbono atmosférico para dar los carbonatos correspondientes.

Dado que la pastilla de hiponitrito de plata se ennegrece rápidamente, no fue posible medir la cinética de este compuesto. Posiblemente compita la formación de óxido de plata con la descomposición del hiponitrito.

La cinética de descomposición fotolítica del hiponitrito de sodio es de primer orden, siendo más compleja para el hiponitrito de talio.

BIBLIOGRAFIA

[1] M.J. Rose y P.K. Mascharak, Current Opinion in Chem Biol. **12**, 238 (2008).
[2] M. E. Chacón Villalba, A. Navaza, J.A. Güida, E.L. Varetti y P.J. Aymonino Inorg. Chim. Acta **359**, 707 (2006).
[3] M. E. Chacón Villalba, Carlos A. Franca, Jorge A. Güida. Spectrochim. Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy **176** 189 (2017)
[4] H. Kunkely y A. Vogler, Inorg Chem Commun. **10**, 1294-1296 (2007).
[5] J.L. Griggs, Jr, K. Narahari Rao, L.H. Jones y R.M. Potter, J. Mol. Spectrosc. **18**, 212 (1965).

VALORACIÓN DE VARIABLES NATURALES MEDIANTE MATRICES PARA SU APLICACIÓN EN ESTUDIOS AMBIENTALES EN ÁREAS DE LLANURA

Borzi, Guido[a,b], Roig, Alejandro[c], Tanjal, Carolina[a,b], Santucci, Lucía[a,b], Tejada Tejada, Macarena[d], Carol, Eleonora[a,b]

[a]Centro de Investigaciones Geológicas, CONICET-UNLP, Diagonal 113 n#275, La Plata, Buenos Aires, Argentina

[b]Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Av. 122 and 60, La Plata, Buenos Aires, Argentina

[c]Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina

[d]Departamento de Geografía, Historia y Filosofía, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España

gborzi@fcnym.unlp.edu.ar

Palabras Clave: inundaciones, anegamiento, AHP, cuenca del río Samborombón

INTRODUCCIÓN

La asignación de un número a una variable natural para su uso en estudios ambientales representa un problema respecto a la subjetividad del operador, ya sea por omisión o por falta de representatividad de un rasgo analizado. Se destaca en este sentido, que la formación del operador tendrá una influencia marcada a la hora de darle un peso numérico a una variable estudiada. Asimismo, también puede otorgarle un peso mayor a un rasgo más que otro, observando que otro operador puede asignarle una valoración opuesta a la misma variable. Por último, algo que es aún más difícil de hacer es adjudicarle un número a una observación, la cual puede contener distinta información, teniendo que asignar un número que se complemente con el resto de otros parámetros naturales valorados.

En una cuenca hidrográfica, existen variables naturales del medio físico las cuales responden de manera diferente ante una presión realizada en ella. Por ejemplo, si se analiza la pendiente del terreno, la misma puede ser utilizada para saber si el agua escurre o no durante una precipitación y/o tiene una preferencia a infiltrar, para observar posibles deslizamientos, o analizar la misma desde un punto de vista constructivo/ingenieril, entre otras. Por esta razón, la valoración de una variable natural dependerá de la finalidad del estudio que se quiere realizar.

Por otro lado, actualmente el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) da la capacidad de analizar grandes áreas del territorio en poco tiempo, pudiendo incorporar no solo información recolectada recientemente en el campo, sino que se pueden adicionar variables que fueron mapeadas hace más de medio siglo. En este sentido, aquella información que fue colectada hace tiempo posee un nuevo valor cuando las mismas son incorporadas a un SIG y puede ser comparada/complementada con otra información actual.

En áreas de llanura, como el noreste de la provincia de Buenos Aires, uno de los mayores problemas que se registran son las inundaciones regulares (Latrubesse y Brea, 2009; Scarpati y Capriolo, 2013), siendo de gran importancia definir los sectores que se anegan para un adecuado manejo de cuencas.

El objetivo del trabajo fue utilizar una metodología que permita valorar variables naturales para su uso en la evaluación de peligro de inundación, y que al mismo tiempo pueda ser analizada la subjetividad del usuario, pudiendo o no rechazar la valoración efectuada. Para esto se tomó como caso de estudio a la cuenca del río Samborombón (Fig. 1) localizada en el noreste de la provincia de Buenos Aires, la cual presenta inundaciones regulares (Borzi et al., 2020).

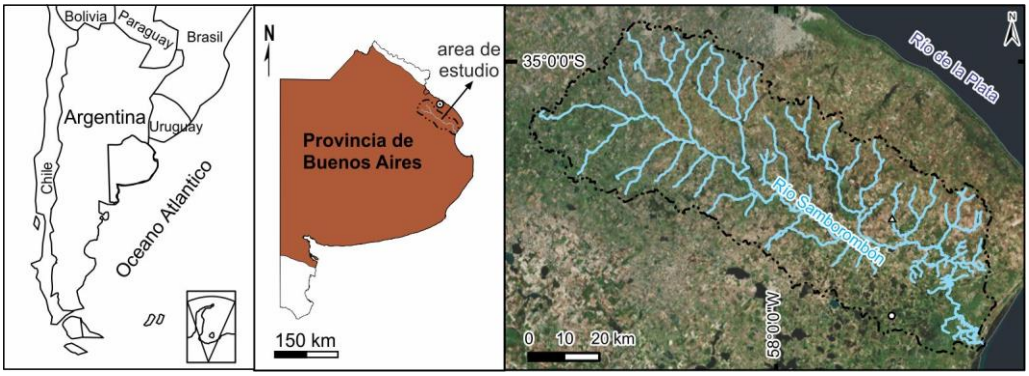


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

DESARROLLO

La metodología planteada para la valoración de variables naturales fue mediante la creación de matrices de comparación por pares propuesta por Saaty (1980). Esta técnica consiste en la toma de decisiones con criterios múltiples, proporcionando un enfoque sistemático para evaluar los impactos de diversas variables, la cual es llamada Proceso Analítico de Jerarquía, o AHP por sus siglas en inglés (Analytical Hierarchy Process). En la misma, se construye una escala mediante la asignación de un número del 1 al 9 a una variable, en donde 1 significa igual importancia entre pares de variables y 9 significa que una variable es extremadamente más importante que otra, siendo dichas comparaciones siempre entre pares. En este sentido, se destaca la ventaja de usar esta metodología ya que posibilita combinar datos de distintos campos del conocimiento como por ejemplo la gestión de cuencas hidrográficas, la asignación de recursos, el análisis socioeconómico, entre otros (Srdjevic, 2007; De Steiguer et al., 2003; Jaiswal et al., 2014).

Posteriormente a la generación de las matrices de pares que se desean comparar, la discrepancia entre la comparación de pares de variables y la confiabilidad de los pesos asignados a éstas se debe calcular la razón de consistencia (*RC*) (ecuación 1), la cual debe ser < 0,1 para que los pesos asignados a las variables sean aceptados.

$$RC = \frac{IC(A)}{RIn} \text{ (Ec. 1)}$$

Donde *IC* es el índice de consistencia que depende de la matriz *A* de comparación por pares de variables, sus elementos es la relación entre dos pesos asignados a cada una λmáx.=es el máximo autovalor (eigen valor) de la matriz *A* y *n* la dimensión de la misma. Por su parte, el índice aleatorio *RIn* (Tabla 1) representa la consistencia de una matriz de comparación por pares generada aleatoriamente. En este sentido, el *RIn* se deriva como índice de consistencia aleatorio promedio, calculado por Saaty (1980) a partir de una muestra de 500 matrices que se generan al azar.

Tabla 1. Valores del índice aleatorio *RIn*

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,5247	0,8816	1,1086	1,2479	1,3417	1,4057	1,4499	1,4854

Asimismo, λmáx.= *n* si y solo si la matriz *A* es consistente y λmáx.> n en el resto de las situaciones.

$$IC(A) = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \text{ (Ec. 2)}$$

En donde $A\ w = n\lambda_{max}$, y w es el autovector. Para el resto de las situaciones Saaty (1977) propone una generalización y plantear el siguiente sistema:

$$A\,w = \lambda_{max}\,w \quad \text{(Ec. 3)}$$

Se generaron 4 matrices considerando como variables a la pendiente, la tasa de infiltración, observaciones de campo y la profundidad del nivel freático. Estas variables poseen propiedades respecto a su inundabilidad, obteniendo como resultado final un peso numérico en relación a su tendencia a inundarse.

La pendiente del terreno influye en la infiltración y escurrimiento superficial del agua de las precipitaciones que ingresa a la cuenca. La valoración de esta variable se efectuó a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) siendo mayor el número de valoración mientras menor era la pendiente. La permeabilidad de los suelos en la cuenca de drenaje se relaciona a la tasa de infiltración. Para la valoración de esta variable se utilizó el mapa del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria a escala 1:50.000 (INTA, 1993) donde se indica la permeabilidad, la cual está relacionada a la tasa de infiltración de cada serie de suelo. Las categorías de tasa de infiltración registradas en el área de estudio son muy lenta, lenta, moderadamente lenta, moderada, moderadamente rápida, observando que este parámetro adquirió un número mayor cuanto menor era la tasa de infiltración. Por otro lado, la serie de suelos del INTA (INTA, 1993) dispone de observaciones de campo que indican características respecto a la presencia regular o no de agua en superficie. En este sentido, se valoró a dicha variable con un número mayor mientras su tendencia al anegamiento fuera más marcada. Por último, otra característica que favorece la inundación de un sector es la profundidad a la que se encuentra el nivel freático. Esta variable adquirió una valoración mayor mientras menor fuera el espesor de la zona no saturada registrado en el área de estudio. Posteriormente a la realización de las matrices de comparación por pares, las variables fueron incorporadas un SIG donde se observó espacialmente la distribución de los parámetros valorados.

RESULTADOS

La solución del sistema (ecuación 3) denominado método de los autovectores se obtiene elevando la matriz Aa una potencia suficientemente grande, luego sumando las filas y normalizando para obtener el vector de prioridad $w = (w_1,\ldots, w_n)$. El proceso se detiene cuando la diferencia entre los componentes del vector de prioridad obtenido a la n-ésima potencia y a la (n+1) potencia es menor que un pequeño valor predeterminado. El vector de prioridades es la escala derivada asociada con la matriz de comparaciones.En la Figura 2 se pueden observar las matrices construidas para las distintas variables analizadas como la tasa de infiltración, pendiente, potencial de anegamiento y profundidad del nivel freático, siendo A1, A2, A3 y A4, respectivamente.

$$A1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 1/2 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \qquad A2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 7 \\ 1/7 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \qquad A4 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 2. Matrices A de comparación por pares de las variables analizadas en la cuenca estudiada.

La Figura 3 representa los autovectores calculados por el método mencionado anteriormente, donde vA1= [0,419 0,263 0,16 0,0973 0,0618],vA2= [0,515 0,252 0,132 0,0649 0,0364], vA3= [0,599 0,259 0,098 0,044] y vA4= [0,565 0,262 0,118 0,055], y los vAi son los autovectores correspondiente a cada matriz Ai, con i=1,…,4.

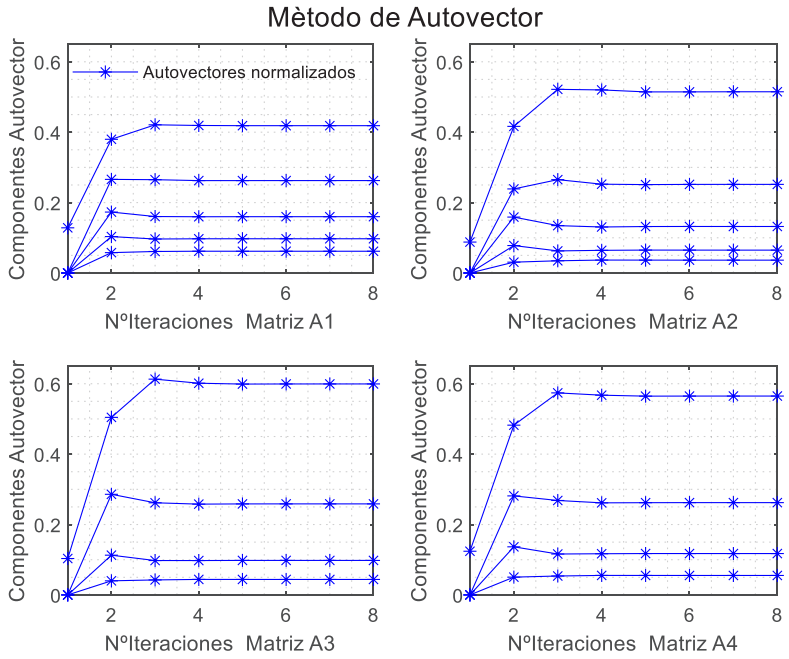


Figura 3. Representación de la convergencia del método del autovector para las matrices *A* correspondientes a la Figura 2.

Todas las matrices analizadas obtuvieron un *RC* menor a 0,06, valor que se encuentra por debajo de 0,1 necesario para ser aceptadas. Se destaca que la conformación de las matrices permitió valorar los rasgos intrínsecos de cada variable, otorgándole un peso numérico (Tabla 2).

Tabla 2. Matrices de comparación por pares utilizadas para la valoración.

Tasa de infiltración RC=0,0152	Muy Lenta	Lenta	Moderadamente lenta	Moderada	Moderadamente rápida	**Peso asignado**
Muy Lenta	1	2	3	4	5	**0.419**
Lenta	1/2	1	2	3	4	**0.263**
Moderadamente lenta	1/3	1/2	1	2	3	**0.16**
Moderada	1/4	1/3	1/2	1	2	**0.0973**
Moderadamente rápida	1/5	1/4	1/3	1/2	1	**0.0618**
Pendiente RC=0,0602	<0.0074 %	0.0074-0.1926 %	0.1926-0.3853 %	0.3853-0.7171 %	>0.7171 %	**Peso asignado**
<0.0074 %	1	3	5	7	9	**0.515**
0.0074-0.1926 %	1/3	1	3	5	5	**0.252**
0.1926-0.3853 %	1/5	1/3	1	3	5	**0.132**
0.3853-0.7171 %	1/7	1/5	1/3	1	3	**0.0649**
>0.7171 %	1/9	1/5	1/5	1/3	1	**0.0364**
Pot. anegamiento RC=0,0367	Escaso	Bajo	Medio	Alto	**Peso asignado**	
Escaso	1	3	7	9	**0.599**	
Bajo	1/3	1	3	7	**0.259**	
Medio	1/7	1/3	1	3	**0.098**	
Alto	1/9	1/7	1/3	1	**0.044**	
Prof. n. freático RC=0,0433	<1.4 m	1.4-1.9 m	1.9-2.5 m	>2.5 m	**Peso asignado**	
<1.4 m	1	3	5	7	**0.565**	
1.4-1.9 m	1/3	1	3	5	**0.262**	
1.9-2.5 m	1/5	1/3	1	3	**0.118**	
>2.5 m	1/7	1/5	1/3	1	**0.055**	

La incorporación de los parámetros analizados a un SIG permitió evidenciar que existe una gran tendencia a que la llanura de inundación de ríos y arroyos se encuentre como el rasgo que tiene mayor susceptibilidad al anegamiento.

La capa de pendientes permitió observar la escasa pendiente de la llanura de inundación de ríos y arroyos limitada por sectores de mayores pendientes relativas. Asimismo, los sectores más altos, en zonas de divisoria, también se caracterizan por la baja pendiente, un rasgo común de esta área de planicie (Fig. 4a). Respecto a la permeabilidad, la menor tasa de infiltración fue observada principalmente en la llanura de inundación, así como también en depresiones cercanas al área de desembocadura. Por su parte, las mayores tasas de infiltración fueron registradas principalmente en sectores de divisoria de agua (Fig. 4b).

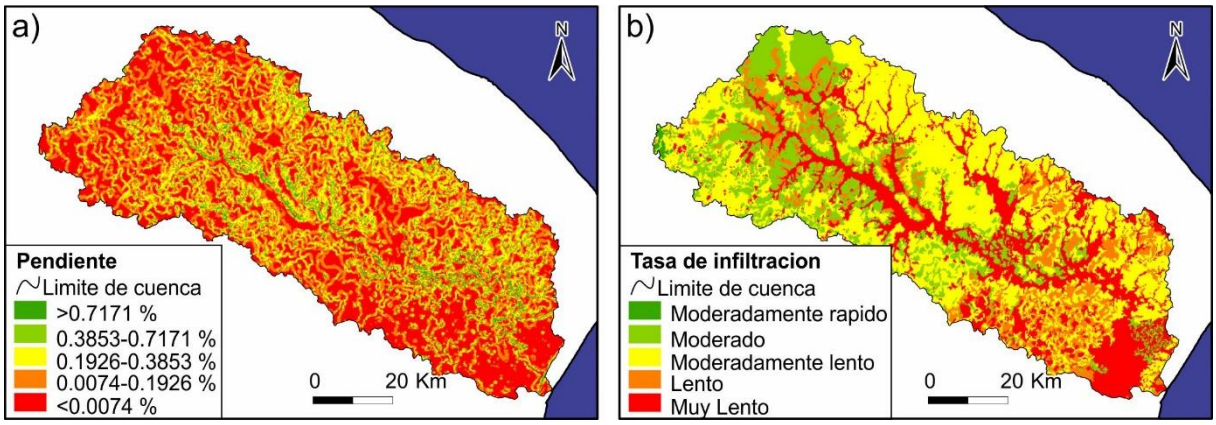


Figura4. Mapa de pendientes (a) y tasa de infiltración (b) valorados mediante AHP.

Las observaciones referentes a la tendencia a inundación de cada suelo evidenciaron que la llanura de inundación de ríos y arroyos son los sectores más propensos a ser ocupados por agua, así como también el sector de desembocadura. Por otro lado, en los sectores de divisoria principal y secundaria presentaron una tendencia a inundación escasa (Fig. 5a).

Por último, la zona no saturada presentó sus menores espesores en el sector de desembocadura, llanura de inundación de ríos y arroyos, y progresivamente fue adquiriendo mayores espesores en el área de divisoria principal de la cuenca (Fig. 5b).

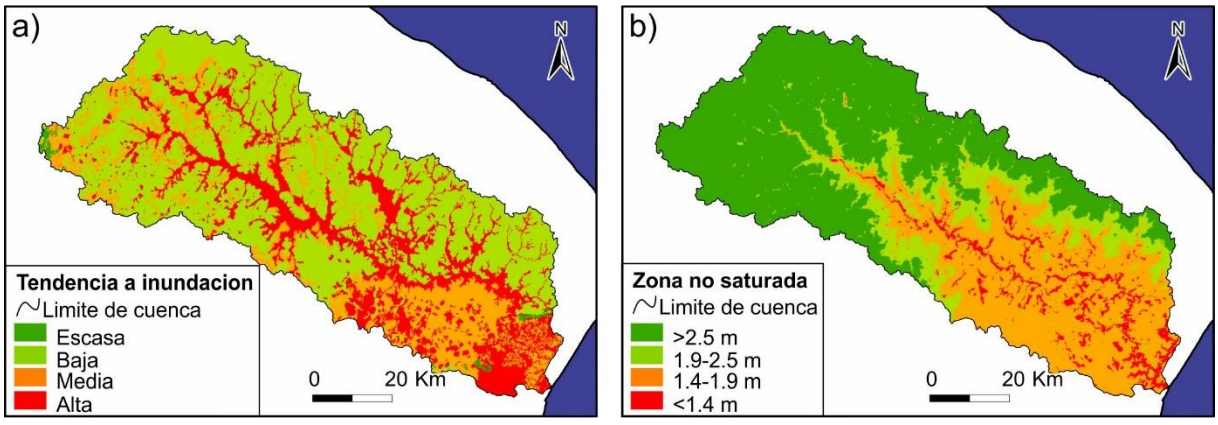


Figura5. Mapa de tendencia de inundación (a) y zona no saturada (b) valorados mediante AHP.

CONCLUSIONES

La conformación de las matrices mediante la metodología propuesta por Saaty (1980), permitió valorar las variables analizadas, así como su posterior incorporación a un SIG. Asimismo se destaca que el AHP permite otorgar un peso a las variables cualitativas las cuales pueden ser

aceptadas o rechazadas, reduciendo el error del usuario. Esto evidenció que las áreas marcadas con mayor tendencia al anegamiento son la llanura de inundación del río y los afluentes, encontrando que los sectores de divisoria poseen la tendencia opuesta. La valoración de variables naturales contribuye a realizar análisis cuantitativos cuando éstos proceden de distintas fuentes. Esto permite unificar parámetros para que puedan ser analizados conjuntamente de manera cuantitativa.

La perspectiva de esta metodología será incorporar nuevas variables con el fin de que sean integradas a un SIG y puedan ser procesadas en conjunto para determinar los sitios con mayor tendencia a la inundación de la cuenca.

Bibliografía

Borzi G, Santucci L, Tanjal C, Carol E (2020). Assessment of surface runoff conditioned by road works and urban settlements in large plain basins. Natural Hazards, 1-14.
De Steiguer JE, Duberstein J, Lopes V (2003). The analytic hierarchy process as a means for integrated watershed management. In First interagency conference on research on the watersheds (pp. 736-740). Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Benson, Ariz.
INTA (Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria) (1993). Cartas de Suelos de la República Argentina. ISSN 0327-781X. Centro de Investigaciones de recursos Naturales. Instituto de Suelos área de Investigación en Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras.
Jaiswal RK, Thomas T, Galkate RV, Ghosh NC, Singh S (2014). Watershed prioritization using Saaty's AHP based decision support for soil conservation measures. Water resources management, 28(2), 475-494.
Latrubesse EM, Brea D (2009). Floods in Argentina. Developments in Earth Surface Processes, 13, 333-349.
Saaty TL (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology, 15(3), 234-281.
Saaty TL (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York.
Scarpati OE, Capriolo AD (2013). Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 2013(82), 38-51.
Srdjevic B (2007). Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management. Decision Support Systems, 42(4), 2261-2273.

ESTUDIO DE LA ENTROPIA Y COMPLEJIDAD WAVELET EN LA FRAGMENTACIÓN DEL COMPLEJO QRS

Clemente, Gisela V. [a,b], Vampa, Victoria[a], Valverde, Esteban R.[b,c,d] y Arini, Pedro D.[b,c,e]

[a]*UIDET, Matemática Aplicada, Depto. de Cs. Básicas, Fac. de Ing., UNLP*
[b]*CONICET*
[c]*Instituto de Ingeniería Biomédica (IIBM), FIUBA*
[d]*Instituto de Fisiología y Biofísica "Bernardo Houssay" (IFIBIO-Houssay), Grupo de Neurociencia de Sistemas*
[e]*Grupo de Investigación en Cardioseñales, Instituto Argentino de Matemática, 'Alberto P. Calderón' CONICET.*

Lugar de ejecución: Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Trasferencia (UIDET), Matemática Aplicada. Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Dirección electrónica del autor de contacto: investigar1matematica@gmail.com

1. Introducción

Se ha demostrado que aquellos individuos que han sufrido un infarto de miocardio (IM) tienen una alta probabilidad de desarrollar arritmias ventriculates malignas y/o muerte súbita cardíaca. Las anomalías de la conducción eléctrica que aparecen en la región de cicatrizado del miocardio se reflejan en el electrocardiograma (ECG) como fragmentaciones del complejo QRS (fQRS), que no siempre son posibles de detectar visualmente.

Hay pocas técnicas no invasivas para capturar dichas inestabilidades eléctricas en el caso en que los pacientes no presenten taquicardia o fibrilación venticular (VT/VF). Los mismos son potencialmente riesgosos y pueden desarrollar la arritmia inesperadamente.

Por ello, hemos evaluado la señal del ECG a partir de su entropía normalizada ($\mathcal{H}$) y la complejidad wavelet ($\mathcal{C}$) de complejos QRS, utilizando la transformada wavelet continua, como un método eficaz para cuantificar alteraciones anormales en la actividad eléctrica cardíaca en pacientes post IM.

Palabras clave: *transformada wavelet continua, energía wavelet relativa, entropía wavelet, complejidad estadística, infarto de miocardio.*

2. Desarrollo y Discusión

2.1. Trasformada wavelet continua

Una familia wavelet $\psi_{a,b}$ es un conjunto de funciones

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \qquad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \tag{1}$$

donde a y b son los parámetros de escala y traslación respectivamente, y ψ es una función fija, llamada *wavelet madre*, que está bien localizada tanto en tiempo como en frecuencia.

Para ser clasificada como wavelet, debe satisfacer la siguiente *condición de admisibilidad*:

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\widehat{\psi}|^2}{w} dw < +\infty \tag{2}$$

donde $\widehat{\psi}(w)$ es la Transformada de Fourier de ψ.

La *transformada wavelet continua* (CWT) de una señal $s(t) \in L^2(\mathbb{R})$ se define como

$$W_\psi s(a,b) = \langle s, \psi_{a,b} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)\overline{\psi_{a,b}(t)}dt \qquad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \tag{3}$$

La CWT se utiliza para construir una representación de tiempo-frecuencia de una señal.

El cálculo de la CWT generalmente se realiza tomando valores discretos para el parámetro de escala a y el parámetro de traslación b. Por lo tanto, se puede obtener la siguiente representación wavelet de la señal

$$s(t) = \sum_j \sum_k c_j(k)\psi_{j,k}(t) \tag{4}$$

donde j y k corresponden a valores discretos de a y b respectivamente.

2.2. Energía Wavelet Relativa

Si la familia $\{\psi_{j,k}(t)\}$ es una base ortonormal de $L^2(\mathbb{R})$, los coeficientes wavelet en Eq. (4) están dados por $c_j(k) = \langle s, \psi_{j,k} \rangle$. En cada nivel de resolución j, la *energía wavelet* de la señal es

$$E_j = \sum_{k=0}^{K-1} |c_j(k)|^2 \tag{5}$$

donde K es la longitud de la señal y la *energía wavelet total* se obtiene como

$$E_{tot} = \sum_j E_j. \tag{6}$$

Finalmente, la *energía wavelet relativa* se define, para cada nivel de resolución j, como

$$\rho_j = E_j / E_{tot}. \tag{7}$$

ρ_j permite, a diferentes niveles de resolución j, definir una distribución de probabilidad de la energía.

La distribución $P \equiv \{\rho_j\}$ puede considerarse como una función de densidad de probabilidad a escala temporal, y constituye una herramienta adecuada para detectar y caracterizar fenómenos específicos tanto en el plano temporal como en el plano de frecuencia.

2.3. Cuantificadores basados en la energía wavelet relativa

La *entropía de Shannon* da un criterio útil para analizar y comparar distribuciones de probabilidad. Provee una medida de la información contenida en cualquier distribución y denota la cantidad de desorden.

La *entropía wavelet de Shannon* se define como

$$\mathcal{S}[P] = -\sum_j \rho_j \, ln(\rho_j) \tag{8}$$

y

$$\mathcal{H}[P] = \frac{\mathcal{S}[P]}{\mathcal{S}_{max}} \tag{9}$$

es la *entropía wavelet normalizada* donde $\mathcal{S}_{max} = ln(J)$ si se consideran J niveles de resolución.

La complejidad es un concepto relacionado con estructuras ocultas en la dinámica del sistema; por lo tanto, una medida de complejidad estadística es una especie de indicador del orden oculto. Una medida de complejidad estadística adecuada necesita usar cierta distancia $\mathcal{D}$ de la distribución de probabilidad dada P a la distribución uniforme P_e de los estados accesibles del sistema. Por esta razón, la llamada *distancia de desequilibrio* $\mathcal{Q}[P]$ se introduce como

$$\mathcal{Q}[P] = \mathcal{Q}_0 \, \mathcal{D}[P, P_e] \qquad 0 \leq \mathcal{Q} \leq 1 \tag{10}$$

donde $\mathcal{Q}_0$ es una constante de normalización igual a la inversa del valor máximo posible de la distancia $\mathcal{D}[P, P_e]$. Esta distancia máxima se obtiene cuando uno de los componentes de P, digamos p_m, es igual a uno, mientras que los componentes restantes son iguales a cero.

Usamos la distancia proporcionada por la divergencia de Jensen, que en términos de la entropía de Shannon se puede escribir como

$$\mathcal{D}[P^{(1)}, P^{(2)}] = \mathcal{S}\left[\frac{P^{(1)} + P^{(2)}}{2}\right] - \frac{\mathcal{S}[P^{(1)}]}{2} - \frac{\mathcal{S}[P^{(2)}]}{2} \tag{11}$$

La *complejidad estadística wavelet* $\mathcal{C}[P]$ está dada por

$$\mathcal{C}[P] = \mathcal{Q}[P] \, \mathcal{H}[P] \tag{12}$$

$\mathcal{C}[P]$ una función no trivial de la entropía que mide el grado de correlación entre estructuras. Para un valor dado de $\mathcal{H}[P]$, hay un rango posible de valores para $\mathcal{C}[P]$ entre un valor mínimo $\mathcal{C}_{min}$ y un valor máximo $\mathcal{C}_{max}$.

Para caracterizar la dinámica de las series, una vez calculados los cuantificadores $\mathcal{H} = \mathcal{H}[P]$ y $\mathcal{C} = \mathcal{C}[P]$, los representamos en el plano $\mathcal{HC}$.

2.4. Implementación de la entropía y complejidad

Utilizamos la base de datos de ECG *Physikalisch Technische Bundesanstalt* (PTB) que incluye los registros de 12 derivaciones de ECG estándar de 52 sujetos sanos y 148 pacientes con IM sin VT/VF.

Para cada sujeto y derivación, y para cada $n = 1, ..., N$ latidos, se calcularon mediante la CWT los coeficientes $c_j(k)$, $k = 0, ..., K-1$. Elegimos la Daubechies de orden 6 como wavelet madre porque se adapta a la morfología del complejo QRS. Se consideraron las primeras 16 escalas que cubren un ancho de banda de $32 - 500$ Hz, donde se encuentran los contenidos de interés de alta frecuencia relacionados con el IM. Después de eso, se calculan la entropía wavelet normalizada y la complejidad estadística wavelet. Para representar un cuantificador único para cada derivación, obtenemos los valores medios

$$\bar{\mathcal{H}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} \mathcal{H}(n) \tag{13}$$

$$\bar{\mathcal{C}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} \mathcal{C}(n). \tag{14}$$

3. Conclusiones

Los pacientes con IM presentan mayor entropía y menor complejidad que los pacientes sanos ya que, debido al área infartada después del IM, los fQRS están presentes en los complejos QRS y pueden considerarse de comportamiento aleatorio.

A modo de ejemplo presentamos la siguiente figura en donde se muestran los cuantificadores $\mathcal{H}$ y $\mathcal{C}$ calculados, incluidos sus valores medios, $\bar{\mathcal{H}}$ y $\bar{\mathcal{C}}$, de un sujeto sano y de un paciente con IM. Como se observa en la Fig. 4-d, las energías wavelet relativas sobre los niveles de resolución del paciente con IM están distribuidas de manera más uniforme; este fenómeno aumenta la entropía y disminuye la complejidad, al aumentar la incertidumbre causada por estos patrones de fQRS.

Podemos decir que la entropía wavelet y la complejidad estadística aplicadas a los registros de electrocardiograma (ECG) brindan una nueva perspectiva del análisis de inestabilidades eléctricas en pacientes que no han sufrido taquicardia o fibrilación ventricular (TV/FV) después de un infarto de miocardio y que siguen siendo de riesgo.

4. Bibliografía

- Boggers A. and Narcowich F. (2009), A First Course in Wavelets with Fourier Analysis, 2nd Edition.
- Martínez J.P., Salvador Olmos R.A., Rocha A.P. and Laguna P. (2004), A Wavelet-Based ECG Delineator: Evaluation on Standard Databases, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 51.
- Valverde E.R. and Arini P.D. (2019), Assessment of delayed ventricular activation after myocardial infarction, Biomedical Signal Processing and Control , 48 161–170.

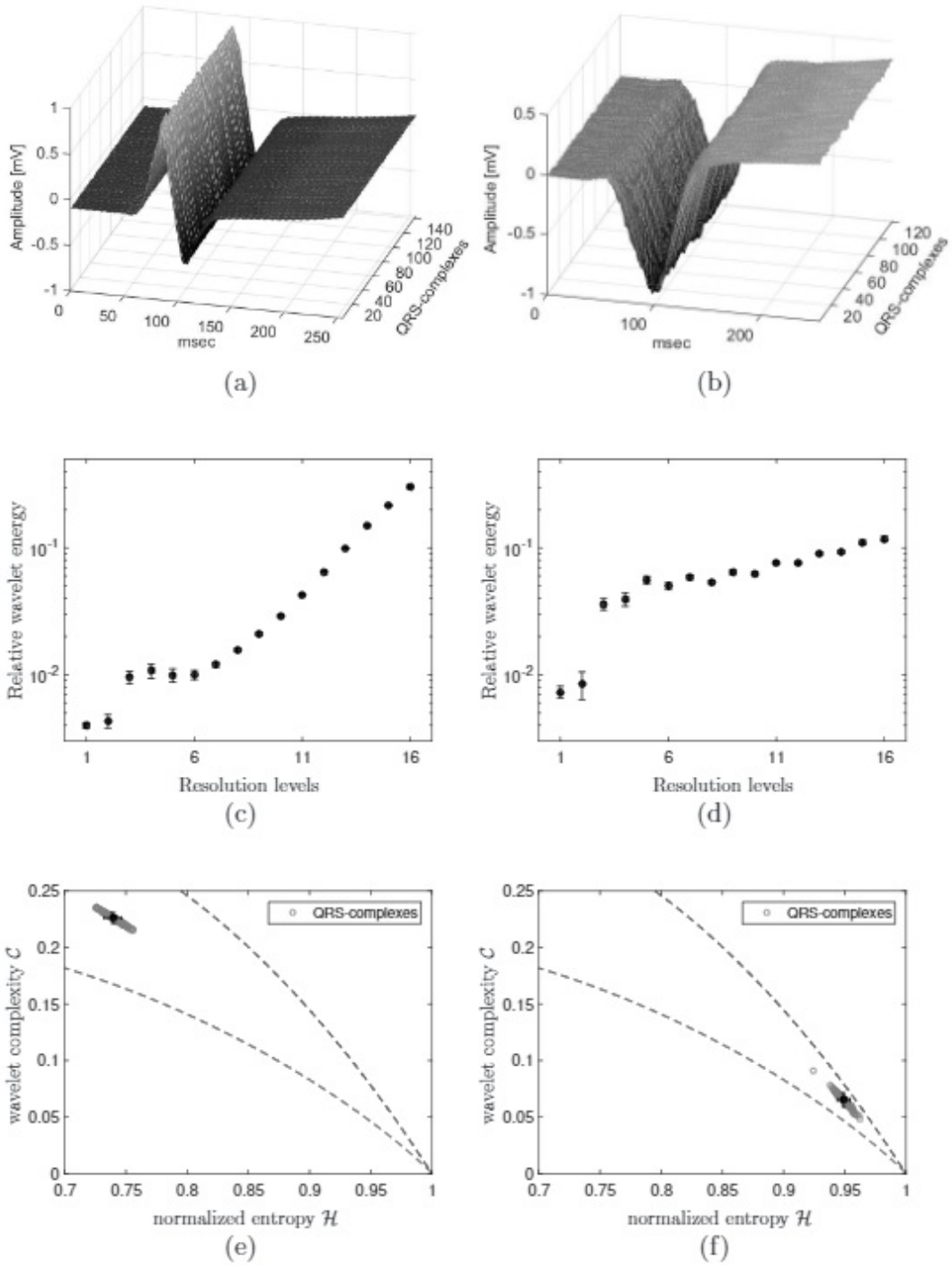


Figura 1: Ejemplo de un sujeto sano (izquierda) y un paciente con IM (derecha), derivación V4. (a) y (b) muestran los complejos QRS alineados. (c) y (d) muestran la energía wavelet relativa para cada nivel de resolución (media $\pm$ D). En (e) y (f) se grafican los planos $\mathcal{HC}$ para cada complejo QRS (círculos grises) incluyendo $\bar{\mathcal{H}}$ y $\bar{\mathcal{C}}$ (marca $\bullet$) con su correspondiente SD. $\mathcal{C}_{min}$ y $\mathcal{C}_{max}$ se grafican en líneas punteadas.

COMPORTAMIENTO DEL OSCILADOR ARMÓNICO CONFINADO EN PRESENCIA DE UN CAMPO ELÉCTRICO CONSTANTE

Silvana P. Flego

Dto. Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
(1900) La Plata. Buenos Aires. Argentina.
flego@fisica.unlp.edu.ar

Recientemente abordamos el estudio de los estados estacionarios en sistemas cuánticos confinados mediante un tratamiento derivado desde el teorema del virial. En esta comunicación mostramos los resultados obtenidos al aplicar la técnica para estudiar el comportamiento de las autoenergías en función de los parámetros propios de un oscilador armónico confinado en presencia de un campo eléctrico constante.

Palabras claves: sistemas confinados, oscilador armónico confinado, ansatz, virial, Schrödinger.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se está prestando mucha atención a los sistemas cuánticos confinados (*SCC*) debido a su importancia en una gran variedad de problemas físicos. Entre los numerosos modelos estudiados para describir un *SCC*, el oscilador armónico confinado (*OAC*) reviste de gran importancia debido al hecho que puede considerarse como una aproximación para una gran cantidad de potenciales arbitrarios cuando el sistema se encuentra cercano al equilibrio. El *OAC* juega un role importante en muchas aplicaciones de la mecánica cuántica no relativistas. También desempeña un papel básico en química cuántica y física molecular donde se usa como un modelo simplificado para describir el movimiento vibratorio de dos átomos. Son innumerables las aplicaciones en astronomía [1-4], en la física del estado sólido [5-7], en el estudio de nanoestructuras cuánticas que tienen en cuenta aspectos tan importantes para el confinamiento como el tamaño de los puntos cuánticos [8,9], etc. En los últimos años ha surgido un interés renovado en sistemas confinados perturbados por campos externos [10-12], y en muchos de estos sistemas se aproxima el potencial de confinamiento mediante un modelo de *OAC*.

Un *SCC* es un ejemplo claro donde la teoría constituye una piedra angular para la explicación y predicción de nuevas propiedades de partículas espacialmente limitadas. El análisis de un problema en alguna subregión del espacio es importante principalmente cuando uno modela un sistema en un medio altamente no homogéneo o en campos externos intensos. Para una amplia gama de situaciones físicas, se puede considerar la ecuación de Schrödinger (SE) para algún subsistema con condiciones de contorno en la frontera de la región. El estudio de modelos confinados exactamente solubles e integrables tanto en la mecánica clásica como en la mecánica cuántica ha sido un tema de interés por mucho tiempo. Sin embargo, solo unos pocos admiten soluciones exactas. Aproximaciones de diversos tipos y varios métodos numéricos computacionales constituyen la herramienta disponible para abordar tales situaciones. En los últimos años, nuevas técnicas se han incorporado a la literatura [13-19], las cuales son herramientas matemáticas útiles, ya que se pueden calcular de forma precisa en sistemas informáticos. Recientemente un procedimiento alternativo, derivado del teorema del virial, ha sido desarrollado. El mismo permite obtener, de una manera simple, ansätze libres de parámetros de ajuste, para tratar con sistemas cuánticos libres y confinados en potenciales convexos y simétricos [20-22]. En esta comunicación, utilizamos los resultados presentados en [22] para abordar el estudio de una partícula confinada en un potencial armónico y sometida a un campo eléctrico estático.

2. PRELIMINARES

2.1 Campo eléctrico actuando sobre una partícula confinada

Consideremos un electrón confinado sometido a un campo eléctrico estático $\vec{\mathcal{E}}_o$. Si aproximamos el potencial de confinamiento con un *OAC* de intensidad ω^2, el hamiltoneano que describe el acoplamiento del electrón con el campo, puede ser escrito como [23]

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m_e}\frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2}m_e\,\omega^2\,x^2 - \vec{\mu}\cdot\vec{\mathcal{E}}_o \tag{1}$$

donde $\vec{\mu}$ denota el momento dipolar eléctrico del electrón. Si $\vec{r}$ es el vector de posición del electrón con respecto al origen y $q=-e$ es su carga, tenemos $\vec{\mu}=e\,\vec{r}$. Si suponemos que el campo eléctrico está en la dirección x se tiene $\vec{\mu}\cdot\vec{\mathcal{E}}_o = e\,x\,\mathcal{E}_o$. Luego, si el electrón está confinado al intervalo $[a,b]$, la SE en u.a. ($\hbar = m_e = e = 1$) es dada por

$$\left[-\frac{1}{2}\frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2}\omega^2 x^2 - x\,\mathcal{E}_o\right]\psi_n(x) = E_n\psi_n(x), \qquad a \le x \le b \tag{2}$$

cuyas autofunciones deben satisfacer condiciones de contorno (cc) de Dirichlet,

$$\psi_n(a) = \psi_n(b) = 0 \tag{3}$$

La SE (2) puede ser transformada en la SE de un oscilador armónico trasladado, cuyo potencial presenta un mínimo en $x=\xi$. Considerando a $[a,b]$ como un intervalo de longitud 2η centrado en $x=\xi$, tenemos

$$\left[-\frac{1}{2}\frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2}\omega^2(x-\xi)^2\right]\psi_n(x) = E_n^{å}\,\psi_n(x), \qquad \xi-\eta \le x \le \xi+\eta \tag{4}$$

con las cc dadas por: $$\psi_n(\xi-\eta) = \psi_n(\xi+\eta) = 0 \tag{5}$$

La transformación de (2) a (4) establece que

$$\xi = \frac{\mathcal{E}_o}{\omega^2}, \qquad E_n^{å} = E_n + \frac{\mathcal{E}_o^2}{2\omega^2} \tag{6}$$

2.2 Ansätze para el oscilador armónico confinado

El obstáculo para avanzar en el estudio del sistema es el desconocimiento de soluciones exactas de la SE (4) condicionada por (5). Aproximaciones de diversos tipos y varios métodos numéricos computacionales constituyen las herramientas disponibles para abordar esta situación. En este estudio utilizaremos los ansätze χ_n para las autofunciones ψ_n presentados en [22], dados por

$$\chi_n(x) = \alpha_n\left\{v_n(x)\,\chi(x) - \sum_{k=0}^{n-1}\langle\chi|v_n(x)\,|\,\chi_k\rangle\,\chi_k(x)\right\}, \qquad n = 0,1,2,\ldots \tag{7}$$

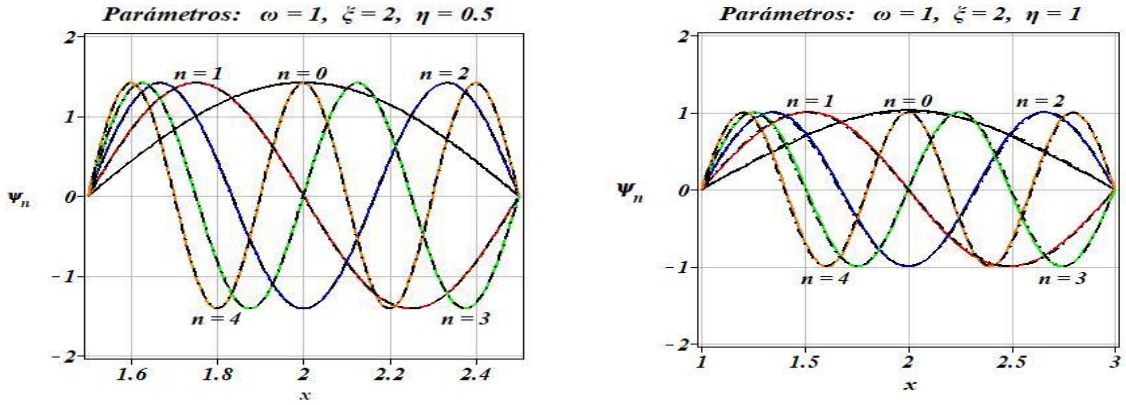
donde,

$$\chi(x) = \cosh\left\{\frac{\omega}{2}\left[(x-\xi)^2 - \eta^2\right]\right\}, \qquad v_n(x) = \text{sen}\left[\frac{(n+1)\pi}{2\eta}(x-\xi+\eta)\right] \tag{8}$$

siendo α_n constantes de normalización [22].

En la figura 1 están representadas las cinco primeras autofunciones y los correspondientes ansätze. Las gráficas fueron construidas fijando $\omega = 1,\ \xi = 2$ y considerando dos valores de η, $\eta = 0.5$ y $\eta = 1$. En cada gráfica son ploteadas con líneas a trazos (negras) las curvas obtenidas por cálculo numérico (se utilizó el programa Matslise) y aquellas obtenidas usando los ansätze (7) con líneas continuas (negro para χ_0, rojo para χ_1, azul para χ_2, verde para χ_3 y coral para χ_4). Como se puede observar las curvas están solapadas, lo cual nos dice que pueden ser consideradas una buena aproximación.

FIGURA 1: AUTOFUNCIONES DEL OH CON *CCH DE DIRICHLET*



3. COMPORTAMIENTO DEL OAC EN PRESENCIA DEL CAMPO ELÉCTRICO

En esta sección mostramos algunas características del comportamiento de las autoenergías del OAC en función de los parámetros del sistema. Debido a que los ansätze incorporan la simetría del potencial, así como propiedades de transformación de la SE, utilizamos estas características para investigar el citado comportamiento.

3.1 Autoenergias aproximadas para el OAC

Los valores aproximados de las autoenergías, pueden ser obtenidos como [23]

$$E_n^* \approx E_n^{ansatz} = \int_{\xi-\eta}^{\xi+\eta} \chi_n(x)\left(-\frac{1}{2}\frac{d^2}{dx^2}+\frac{1}{2}\omega^2(x-\xi)^2\right)\chi_n(x)dx \qquad (9)$$

En las tablas 1 están tabulados los autovalores de energía correspondientes a las autofunciones graficadas en la figura 1. En la primera columna se encuentra el número cuántico principal n, en la segunda los autovalores de energía obtenidos por cálculo numérico computacional y en la tercera aquellos obtenidos utilizando (9). La cuarta columna muestra el error absoluto Δ_n y la quinta el error relativo porcentual ε_n,

$$\Delta_n = E_n^{ansatz} - E_n^{num}, \qquad \varepsilon_n = \frac{\Delta_n}{E_n^{num}} 100 \qquad (10)$$

Como puede observarse, para $\eta = 0.5$ el error relativo porcentual para el estado fundamental es menor al *0.002%* y decrece para los estados excitados. Para $\eta = 1$ los errores son mayores, pero se mantienen por debajo de un *0.3%*.

TABLAS 1: AUTOVALORES DE ENERGÍA DEL AOC CON *CCH DE DIRICHLET*

Valores de los parámetros: $\omega = 1, \eta = 0.5$				
n	E_n^{num}	E_n^{ansatz}	Δ_n	ε_n
0	4.95112932	4.95119826	0.00006894	0.001392
1	19.77453418	19.77467133	0.00013715	0.000694
2	44.45207383	44.45221222	0.00013839	0.000311
3	78.99692115	78.99706284	0.00014169	0.000179
4	123.41071040	123.41085430	0.00014390	0.000117

Valores de los parámetros: $\omega = 1, \eta = 1$				
n	E_n^{num}	E_n^{ansatz}	Δ_n	ε_n
0	1.29845983	1.30221766	0.00375781	0.289405
1	5.07558200	5.08347860	0.00789661	0.155580
2	11.25882580	11.26716708	0.00834128	0.074087
3	19.89969651	19.90815866	0.00846215	0.042524
4	31.00525450	31.01381607	0.00856157	0.027613

3.2 Dependencia de las autoenergías con los parámetros del sistema

- Si realizamos una traslación $u = x - \xi$ y definimos $\bar{\psi}_n(u) = \psi_n(u+\xi) = \psi_n(x)$, la SE (4) en el sistema trasladado $\bar{S}$ es dada por

$$\left[-\frac{1}{2}\frac{d^2}{du^2}+\frac{1}{2}\omega^2u^2\right]\bar{\psi}_n(u) = E_n^{å}\,\bar{\psi}_n(u), \qquad -\eta \le u \le \eta \qquad (11)$$

y las autofunciones deben satisfacer las condiciones de contorno

$$\bar{\psi}_n(-\eta) = \bar{\psi}_n(\eta) = 0 \qquad (12)$$

Las autoenergías $E_n^{å}$ evaluadas en $\bar{S}$ son dadas por

$$E_n^{å} = \int_{-\eta}^{\eta} \bar{\psi}_n^*(u)\left(-\frac{1}{2}\frac{d^2}{du^2}+\frac{1}{2}\omega^2 u^2\right)\bar{\psi}_n(u)\,du \tag{13}$$

de donde resulta evidente que $E_n^{å}$ no depende del campo eléctrico aplicado

$$E_n^{å} = E_n^{å}(\omega,\eta) \tag{14}$$

❖ Si realizamos una transformación de escala $x = \omega^{-1/2} v$ sobre la SE (4), obtenemos

$$\left[-\frac{1}{2}\frac{d^2}{dv^2}+\frac{1}{2}\left(v-\xi^{sc}\right)^2\right]\psi_n^{sc}(v) = E_n^{sc}\,\psi_n^{sc}(v), \qquad \xi^{sc}-\eta^{sc} \le v \le \xi^{sc}+\eta^{sc} \tag{15}$$

donde, $\xi^{sc} = \omega^{1/2}\xi = \dfrac{\mathscr{E}_o}{\omega^{3/2}}$, $\eta^{sc} = \omega^{1/2}\eta$, $E_n^{sc} = \dfrac{1}{\omega}E_n^{å} = \dfrac{E_n}{\omega}+\dfrac{\mathscr{E}_o^2}{2\omega^3}$ (16)

La SE (15) corresponde a un *OAC* con $\omega = 1$ cuyo mínimo ocurre en $v = \xi^{sc}$. Luego, teniendo en cuenta (14) tenemos

$$E_n^{sc} = E_n^{å}\left(1,\eta^{sc}\right) \tag{17}$$

Las autofunciones y los autovalores del problema original pueden ser obtenidos realizando la transformación inversa $v = \omega^{1/2} x$. Luego se tiene

$$E_n^{å}(\omega,\eta) = \omega\, E_n^{å}\left(1,\omega^{1/2}\eta\right) \tag{18}$$

Teniendo en cuenta (6) y (18), las autoenergías de la SE (4) pueden expresarse como,

$$E_n(\omega,\eta,\mathscr{E}_o) = \omega\, E_n^{å}\left(1,\omega^{1/2}\eta\right) - \frac{\mathscr{E}_o^2}{2\omega^2} \tag{19}$$

Dado que los ansätze (7) preservan las propiedades de la SE bajo transformaciones de traslación y escala, las autoenergías aproximadas obtenidas usando los ansätze (9) tienen la misma dependencia con los parámetros que los autovalores exactos,

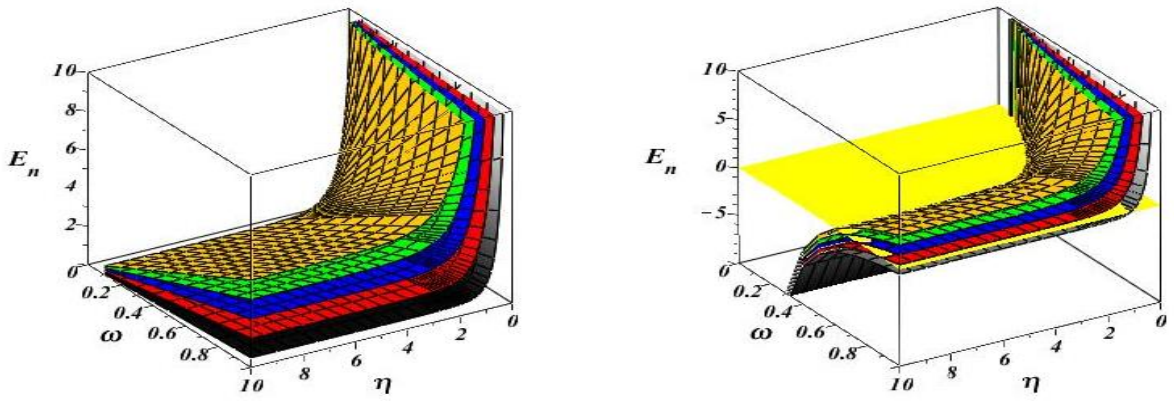
$$E_n^{ans}(\omega,\eta) = \omega\, E_n^{ans}\left(1,\omega^{1/2}\eta\right) \tag{20}$$

$$E_n^{aprox}(\omega,\eta,\mathscr{E}_o) = \omega\, E_n^{ansatz}\left(1,\omega^{1/2}\eta\right) - \frac{\mathscr{E}_o^2}{2\omega^2} \tag{21}$$

En la figura 2 están graficadas las superficies de autoenergía correspondientes a los cinco primeros autoestados. La gráfica de la izquierda corresponde al OAC en ausencia de campo ($\mathscr{E}_o = 0$), y la de la derecha muestra el comportamiento del sistema sometido a un campo eléctrico ($\mathscr{E}_o = 1$). Como puede observarse el número de estados ligados que emergen por acción del campo depende de ω y de η.

FIGURA 2: SUPERFICIES DE AUTOENERGIA DEL OAC

a. $E_n = E_n(\omega,\eta,\mathscr{E}_o = 0)$ **b.** $E_n = E_n(\omega,\eta,\mathscr{E}_o = 1)$



3.3 Confinamiento en la región clásica

Los puntos de retorno clásicos x_r son aquellos donde la energía cinética de la partícula se anula. En la región entre los puntos de retorno, la energía cinética es positiva y esta es una región clásicamente permitida para la existencia de la partícula. Para el oscilador armónico se tiene $x_r = \omega^{-1/2}$. Luego, si el sistema oscila entre los puntos de retorno, (18) y (20) conducen a

$$E_n^{num}(\omega,\eta) = \omega\, E_n^{num}(1,1), \qquad E_n^{ansatz}(\omega,\eta) = \omega\, E_n^{ansatz}(1,1) \tag{22}$$

y el error relativo resulta constante para cada autoestado,

$$\varepsilon_n(\omega,\eta) = \frac{E_n^{ansatz}(\omega,\eta) - E_n^{num}(\omega,\eta)}{E_n^{num}(\omega,\eta)}\, 100 = \varepsilon_n(1,1) \tag{23}$$

En la tabla 2 están tabulados los ansätze de autoenergía correspondientes a los primeros once estados cuánticos, para $\omega = \eta = 1$. En la primera columna se encuentra el número cuántico principal n, en la segunda los ansätze (9) y en la tercera los correspondientes errores relativos porcentual ε_n (23).

TABLA 2: AUTOENERGÍAS

n	$E_n^{ansatz}(1,1)$	$\varepsilon_n(1,1)$
0	1,30221765	0,289405
1	5,08347860	0,155580
2	11,26716708	0,074087
3	19,90815866	0,042524
4	31,01381607	0,027613
5	44,58580370	0,019365
6	60,62468404	0,014320
7	79,13069365	0,011012
8	100,10394620	0,008727
9	123,54450170	0,007084
10	149,45239430	0,005864

Las autoenergías aproximadas (21) cuando el sistema oscila en la región clásica ($\eta \le x_r$) son dadas por

$$E_n^{aprox}(\omega,\eta,\mathscr{E}_o) = \omega\, E_n^{ansatz}(1,\beta) - \frac{\mathscr{E}_o^2}{2\omega^2}, \qquad con \quad \beta = \omega^{1/2}\eta \le 1 \tag{24}$$

y se encuentra que $\varepsilon_n(\omega,\eta) \le \varepsilon_n(1,1)$.

El número de estados ligados con energía negativa, puede ser determinado a partir de (24). En general podemos decir que los primeros k estados ligados tendrán energía negativa si

$$E_k^{ansatz}(1,\beta) \le \frac{\mathscr{E}_o^2}{2\omega^3} \qquad y \qquad E_{k+1}^{ansatz}(1,\beta) > \frac{\mathscr{E}_o^2}{2\omega^3} \tag{25}$$

En las gráficas siguientes se representan las autoenergías para diferentes valores de los parámetros. En cada gráfica son ploteadas con líneas negras, a trazos, las curvas obtenidas por cálculo numérico computacional y con líneas continuas las obtenidas usando los ansätze (negro para $n=0$, rojo para $n=1$, azul para $n=2$, verde para $n=3$, coral para $n=4$, naranja para $n=5$, cian para $n=6$, marrón para $n=7$, magenta para $n=8$, rosa para $n=9$, oro para $n=10$). En la figura 3 están representadas las autoenergías como función del parámetro de confinamiento η (con $\eta \le x_r$) para $\omega = 1$ y en ausencia de campo eléctrico. En la figura 4 se representan los correspondientes errores relativos porcentual ε_n. Como puede observarse, en la región clásica, el error relativo es menor al *0.3%* y corresponde al estado fundamental cuando $\eta = 1$. Los errores en los estados excitados son siempre inferiores al del estado fundamental.

FIGURA 3: AUTOENERGIAS ($\omega = 1, \mathscr{E}_o = 0$)

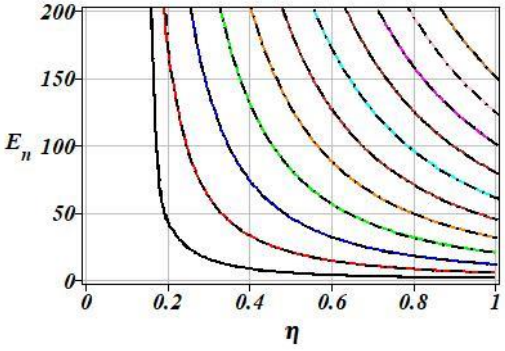
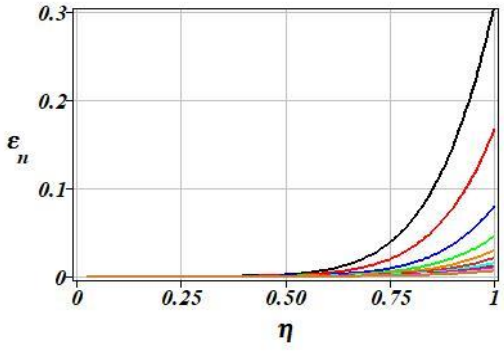


FIGURA 4: ERROR RELATIVO PORCENTUAL



En las figuras 6 y 7 están graficadas las autoenergías para los primeros 11 estados, como función del parámetro de confinamiento η para $\omega = \eta^{-2}$. En la figura 6 se representan las autoenergías en ausencia de campo eléctrico ($\mathcal{E}_o = 0$) y en la figura 7 las correspondientes cuando es aplicado un campo eléctrico de 0.006 u.a. Para este valor de $\mathcal{E}_o$ y $\eta \approx 10$, podemos observar que los primeros tres autoestados tienen autoenergías negativas (25).

FIGURA 5: AUTOENERGIAS ($\omega = \eta^{-2}, \mathcal{E}_o = 0$)

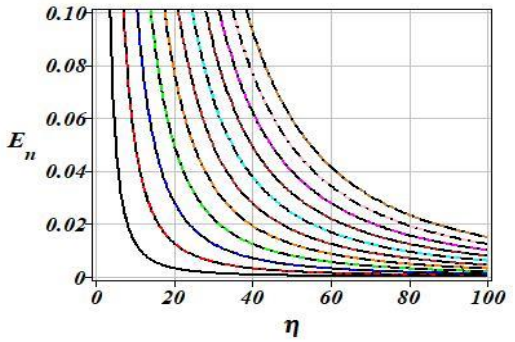
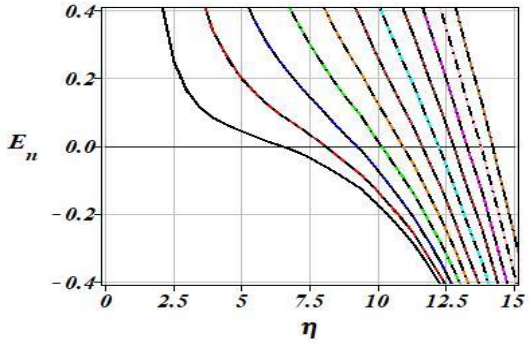


FIGURA 6: AUTOENERGIAS ($\omega = \eta^{-2}, \mathcal{E}_o = 0.006$)



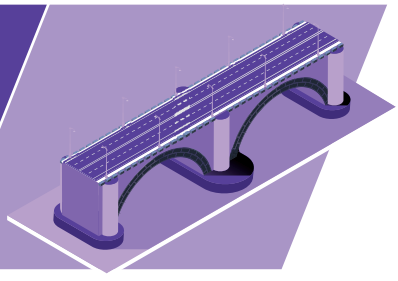
4. CONCLUSIÓN

En esta comunicación utilizamos los avances alcanzados en el estudio de sistemas cuánticos confinados en potenciales simétricos convexos presentados en [22]. El hecho que el procedimiento, libre de parámetros de ajuste, incorpora la simetría del potencial y preserva las propiedades de transformaciones por traslación y escala de la ecuación de Schrödinger, nos permitió estudiar la dependencia de las autoenergías con los parámetros del sistema. Los resultados obtenidos constituyen una herramienta mas para estudiar, predecir y controlar un oscilador armónico confinado sometido a un campo eléctrico estático.

Referencias

1. D. S. Kothari and F.C. Auluck, Sci. Cult. **6** (1940) 370.
2. F. C. Auluck, Proc. Nat. Inst. Sci. India **7** (1941) 133.
3. F. C. Auluck, Proc. Nat. Inst. Sci. India ***8*** (1942) 147.
4. S. Chandrasekhar, Astrophys. **J. 97** (1943) 263.
5. B. Suryan, Phys. Rev **71** (1947) 741.
6. E. M. Corson and I Kaplan, Phys. Rev. **71** (1947) 130.
7. R. B. Dingle, Proc. R. Soc. London Ser. A **212** (1952) 47.
8. A Gonzalez Taboada. *Control de la forma, tamaño y composición de nanoestructuras de semiconductores III-V: anillos y puntos cuánticos* (Tesis doctoral, Fac. Cs., UAM, España, 2010).
9. A. Ramos. *Control de estados cuánticos en puntos cuánticos mediante campos magnéticos*. (Tesis doctoral, Fac. de Matemática, Astronomía, Física y Computación. UNC, Argentina, 2016).
10. S. Moroz, *Phys. Rev. A* **86** (2012) 011601.
11. R. Riera, J. L. Marín and R. A. Rosas: *Optical Properties and Impurity States in Nanostructured Materials*. (*Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices*, 6, Acad. Press, San Diego, 2001).
12. L. Lu, W. Xie and H. Hassanabadi, J Appl Phys. **109** (2011) 063108.
13. S.H. Dong and Z.Q. Ma, *Int. J. Mod. Phys. E*, **11** (2002) 155-160.
14. I. Bhatti, K. D. Coleman and W. F. Perger, *Phys. Rev. A*, **68** (2003) 044503.
15. B. Zhao and P. C. Stancil, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **40** (2007) 4347- 4354.
16. J. Xi, L. Wu, X. He and B. Li, *Phys. Rev. A*, **46** (1992) 5806-5811.
17. I. Bhatti and W. F. Perger, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **39** (2006) 553-558.
18. D. D. Bhatta and M. I. Bhatti, Appl Math Comput. **174** (2006)1255-1268.
19. S. Lumb, S. Lumb and V. Prasad, Quantum Matter **2** (2013) 314-320.
20. S. P. Flego: Virial-ansätze for the Schrödinger Equation with a symmetric strictly convex potential, (2020). ArXiv:2008.08179 [math-ph]. Submitted.
21. S. P. Flego: Virial-ansätze for the Schrödinger Equation with x^{2k} -type potential. Submitted.
22. S. P. Flego: Virial-ansätze for confined quantum systems into a symmetric convex potential. To be submitted
23. W. Greiner and B. Müller, *Quantum mechanics. An Introduction*, Springer, Berlin, 1988.

CONSTRUCCIONES



UTILIZACIÓN DE CAPAS DELGADAS DE HRF PARA MANTENIMIENTO DE RUTINA DE AUTOPISTAS

Monetti Diego H.

Departamento de Construcciones, Facultad de Ingeniería, U.N.L.P., calle 115 e/47 y 48, (CP1900)
La Plata, Argentina, dmonetti@ing.unlp.edu.ar

Palabras Claves: HRF, pavimentos, overlays.

Resumen

Los costos de reparación y mantenimiento de los pavimentos pueden ser muy importantes. El empleo de HRF en capas de refuerzo representa una solución competitiva. Continuando con la línea de investigación desarrollada en los últimos años en el marco del Proyecto de incentivos a la investigación “Empleo de fibras en hormigones y otros compuestos para construcción y reparación de obras de infraestructura sustentables” Código I244, en este trabajo se analizan las posibilidades de empleo de capas delgadas de HRF en el mantenimiento de autopistas en nuestro país. Luego de brindar un marco de referencia del tema vinculado a la degradación de las calzadas de rodamiento de pavimentos flexibles, se presentan sintéticamente los principales aspectos del comportamiento mecánico y algunos antecedentes en el empleo de HRF para la realización de capas de refuerzo, para finalmente analizar el caso particular de la AU Riccheri, AU Jorge Newbery y AU Ezeiza-Cañuelas. En base al tránsito circulante y los antecedentes de reparaciones efectuadas, se plantean las ventajas que derivarían de la aplicación de la tecnología Whitetopping con HRF para esta y otras condiciones similares.

Introducción

Más allá de la metodología de diseño elegida, la calzada de rodamiento de rutas y autopistas se define considerando: las características del material a utilizar, las repeticiones de cargas por eje previstas a circular en su vida útil y las características de las capas subyacentes.

Una de las primeras y mayores experiencias desarrolladas para el estudio del comportamiento de los pavimentos bajo cargas de tránsito fue el AASHO Road test [1]. En el mismo se adoptó el término de Serviciabilidad Presente para indicar la capacidad de un pavimento en un determinado momento, para servir al tránsito. El desempeño de dicho pavimento fue representado por su historia de serviciabilidad junto con la de aplicación de cargas. La serviciabilidad de cada sección fue determinada en base a la rugosidad longitudinal y transversal, así como la extensión de las fisuras y baches. Estos parámetros han sido adoptados por la gran mayoría de los métodos de evaluación del deterioro, sumándose posteriormente las cuestiones correspondientes a la pérdida de fricción superficial, y para la definición de intervenciones mayores, se incorporaron metodologías tendientes a determinar la vida útil remanente de la estructura de pavimento, que para los pavimentos flexibles consisten mayormente en estudios de fatiga sobre testigos (en laboratorio), y la medición de deflexiones tanto en forma estática como dinámica [2].

Considerando los pavimentos flexibles actuales, los aspectos que determinan el mantenimiento de rutina siguen siendo los mismos: deterioros de la superficie (desprendimientos, exudación de ligante, pérdida de rugosidad) y deterioros de la estructura (ahuellamiento, deformaciones longitudinales, hundimientos, fisuración, desprendimientos y baches) [3-5]. En el caso particular de los pavimentos construidos en base a mezclas asfálticas, es de particular importancia la velocidad de circulación y las variaciones de la misma, siendo el caso más desfavorable el correspondiente a velocidades muy bajas o nulas

como sería un estacionamiento, y potenciándose también las deformaciones en sectores de cambio brusco de velocidad frecuente (frenado y aceleración).

Como contrapartida, el pavimento flexible brinda mayor confort para circular, permite una rápida liberación al tránsito luego de su ejecución y/o reparación, y permite reparaciones puntuales de escasa extensión sin mayores perjuicios.

Algunos de los factores mencionados, sumados a condicionantes económicos que se han dado en determinados momentos históricos en los cuales los costos de implementación de pavimentos flexibles eran menores a los del hormigón, así como la mayor especialización de algunas empresas constructoras en este tipo de pavimentos, favorecieron el desarrollo masivo de los pavimentos flexibles en la Argentina.

La evolución tecnológica de los materiales por un lado y el crecimiento poblacional, industrial y del parque automotor por otro, generaron cambios significativos en la dinámica de uso de las carreteras con los consiguientes efectos sobre sus capas de rodamiento. Tal es el caso de las autopistas de acceso a la ciudad de Buenos Aires, que progresivamente han ido incrementando su tránsito, y al mismo tiempo han aumentado las cargas por eje de los camiones circulantes y se han reducido en muchos casos las velocidades a causa de la congestión producto del incremento del volumen de vehículos circulantes.

Estos factores han cambiado en muchos lugares el comportamiento y la vida útil esperable de la carpeta de rodamiento, a raíz de una más rápida generación de ahuellamiento, fisuras y exudación con la consiguiente pérdida de rugosidad friccional de suma importancia para la seguridad vial. En este punto es donde la evaluación de la utilización de un material diferente para la reparación o recuperación de las condiciones de circulación de la calzada de rodamiento, se vuelve un punto de interés y digno al menos de un análisis particular.

Las experiencias de empleo de overlays de hormigón demuestran que se logra mantener un buen nivel de servicio durante un tiempo muy superior, lo cual conlleva a que puedan reducirse los costos totales (construcción + conservación) al alargarse hasta el doble y el triple los ciclos inter reparatorios [15].

Antecedentes en caracterización y comportamiento de capas de refuerzo de hormigón

La tecnología de overlays (sobre capas) de hormigón o Whitetopping (WT) consiste en la aplicación de una losa de hormigón de cemento portland, superpuesta en la parte superior del pavimento asfáltico existente. Se distinguen tres tipos de Whitetopping, el convencional, el delgado y el ultra delgado que se diferencian por sus espesores, pudiendo ser superior a 15 cm, de 10 a 15 cm y de 5 a 10 cm respectivamente para cada clase. En la actualidad se recomienda el uso de hormigón reforzado con fibras (HRF) [6]. Bordelon y Roesler [7] desarrollaron un método de diseño para Ultra Thin Whitetopping (UTW) donde se aprecia significativamente la contribución de las fibras.

De una experiencia realizada en Argentina en el 2002 [8], en el cual se utilizó la técnica del UTW, se concluyó que el costo de ejecución de un UTW es similar al costo de un trabajo de fresado y reposición de carpeta asfáltica en igual espesor de trabajo. Es decir que el costo de ejecución de un UTW de 10 cm se equipara al costo de 2 reparaciones de fresado y restitución de carpeta asfáltica de 5 cm de espesor.

El espesor de la capa de hormigón está fuertemente ligado a la previsión o no de adherencia con el asfalto subyacente, ya que si existe completa adherencia el hormigón trabaja mayormente a compresión y en caso de no haberla lo hace a flexión. Por ende, si hay adherencia disminuyen significativamente las tensiones de tracción que se generan en la parte inferior de la losa, incrementando la capacidad estructural del pavimento.

Según Turatsinze et al. [9], las principales causas que producen pérdida de adherencia son: cargas mecánicas externas y los cambios de longitud entre el sustrato y la capa de refuerzo superior. En ambos mecanismos, la pérdida de adherencia comienza en las discontinuidades del refuerzo, los bordes, fisuras y juntas. Bajo el paso de las cargas existe un momento en el cual el refuerzo de hormigón se ve sometido a esfuerzos de tracción en la parte superior, los cuales, en coincidencia con una fisura o junta y debido a la diferente respuesta que ofrecen el overlay de hormigón y el sustrato de concreto asfáltico, favorecen el despegue entre capas y, debido al efecto cíclico de las cargas, dicha fisura en la interfaz progresa en el tiempo [6].



Figura 1 – Principales causas de pérdida de adherencia

Las fisuras en la interfaz se distinguen como el punto de mayor vulnerabilidad para el desempeño de los overlays diseñados como adheridos y, según los estudios efectuados en overlays de hormigón sobre hormigón por Makara et al. [10], se ven condicionados por el tipo de mezcla utilizada (contracción y rigidez) y por el estado del sustrato.

Turatsinze y Tran [11-12], por su parte, analizaron el uso de overlay de HRF sobre sustratos de hormigón simple y vigas de acero con similares conclusiones: (a) los mecanismos de inter trabado gobiernan la fisuración de la capa superior de refuerzo y la propagación de fisuras en la interfaz, (b) la contracción por secado afecta el inicio de la fisuración y el rango de propagación en la capa de refuerzo que reduce su durabilidad y (c) una menor rigidez y mayor resistencia de la sobrecapa mejora la adherencia y durabilidad de la interfaz.

Tayeh et al. [13] muestran la importancia de una preparación óptima de la interfaz para obtener un mejor trabajo conjunto del paquete estructural. No obstante, Perez et al. [14] indican que una mejora en la rugosidad y adherencia entre la sobrecapa y el sustrato no siempre garantizan una repuesta monolítica del compuesto.

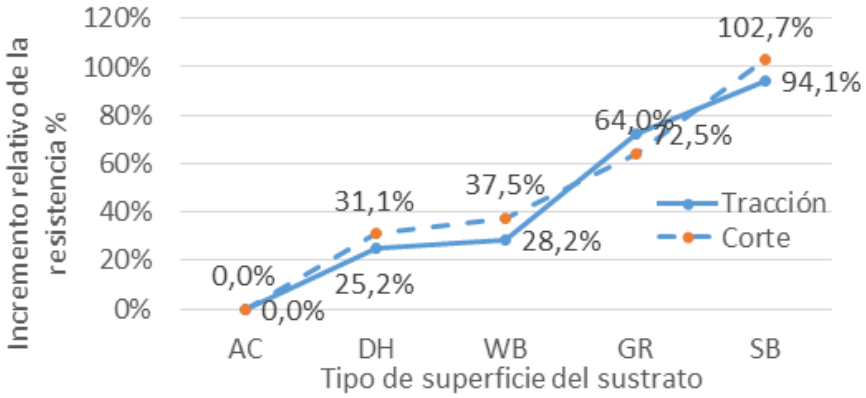


Figura 2 – Incremento relativo de las resistencias de la interfaz al cizallamiento y a la tracción según la preparación de la superficie: sin rugosidad (AC), arenado (SB), cepillado con alambre (WB), taladrado (DH) y con ranuras (GR) [13]

Para que sea viable la rehabilitación de una vía mediante la técnica de Whitetopping, ésta debe cumplir con ciertas condiciones [15]: a) el deterioro de la carpeta asfáltica existente debe

ser superficial, esto quiere decir, que no tenga una afectación evidente en el resto de su estructura, b) el espesor del asfalto existente después del fresado debe ser superior a 7,5 cm.

Análisis de caso local

Buscando demostrar la viabilidad de uso de las capas de refuerzo de HRF en la Argentina y la conveniencia de evaluación de su uso, se presenta un análisis efectuado sobre un tramo de autopista representativo de los sectores de alto tránsito de la red vial argentina. El tramo elegido corresponde al acceso desde la zona sur a la Ciudad de Buenos Aires: AU Ezeiza-Cañuelas, Au Jorge Newbery y Au Riccheri. En la Tabla 1 se indican las toneladas de concreto asfáltico colocadas en las AU Riccheri, J. Newbery y Ezeiza Cañuelas en los años 2018 a 2020, en carácter de repavimentaciones principalmente del carril lento a fin de corregir el deterioro provocado por el tránsito (ahuellamiento y fisuración en mayor medida).

Tabla 1 – Toneladas de mezcla asfáltica colocadas por año (conservación)

Año	Tn
2018	8207
2019	21797
2020	5162
Total	35166

Considerando una densidad del concreto asfáltico de aproximadamente 2,4 tn/m^3, el ancho medio de reemplazo fue de 4 m y el espesor promedio de 0,05 m, se desprende que el promedio de reemplazo anual es de 73,3 km de calzada. Este valor analizado sobre la longitud total del carril lento de este corredor (100,6 km) implica la repavimentación de un 73% al año. Asumiendo que en realidad un 20% se utiliza en la reparación de otros carriles, el análisis anterior daría como resultado un 58% anual, o lo que es equivalente, una vida útil de la calzada con este tipo de intervenciones menor a dos años para el carril sometido a las cargas pesadas. En este esquema, la alternativa de overlay a plantear debería ser tal que la vida útil superara holgadamente los dos años.

Aplicando el software propuesto por la American Concrete Pavements Association [16] para el cálculo de ejes máximos que podría resistir un UTW, se obtuvo un total de 3. 914.000 camiones en el carril de diseño.

Analizando el tránsito circulante por la AU Riccheri, AU Jorge Newbery y la AU Ezeiza – Cañuelas presentado en la Tabla 2 y aplicando los factores de carril (0,6 o 0,8) adoptados en estudios de repavimentación de la zona acorde a los recomendados por el método AASHTO 93 [17] para calzadas de dos y tres carriles por sentido, se obtiene un volumen diario máximo de camiones a prever en el carril de diseño inferior a los 2.900, lo cual implicaría una vida útil de la intervención mediante UTW que superaría holgadamente los 3 años.

Tabla 2 – Datos de tránsito año 2019 [18]

	TMDA (año 2019)	Autos, camionetas, combis, ómnibus de corta distancia y camiones sin acoplado	Ómnibus -camiones con acoplado y semi remolque	Distribución por sentido
AU Riccheri	140.886	93,9	6,1	56/44
AU Jorge Newbery	65.736	91,9	8,1	34/64
AU Ezeiza-Cañuelas	36.600	92,6	7,4	

Discusión

A partir del análisis conjunto de los antecedentes recopilados y los resultados obtenidos en la evaluación del caso local, se observa la viabilidad de aplicación de capas de HRF como refuerzo de pavimentos en reemplazo de las intervenciones mediante concreto asfáltico que se aplican habitualmente en la Argentina, habilitando esta técnica como una opción más a tener en cuenta al evaluar el reacondicionamiento de calzadas. Esto cobra particular importancia en aquellos sectores en los que se detectan deterioros más frecuentes que la media a causa, entre otras tantas circunstancias posibles, de derrames de combustible (zonas de curvas sobre todo en sectores de colectoras o calles urbanas con circulación de ómnibus), mayor incidencia del ahuellamiento por reducción de velocidades y cuestiones similares en las cuales el HRF presente mejor comportamiento que las mezclas asfálticas.

Algunas de las principales ventajas de la tecnología Whitetopping se centran en la mayor rigidez del hormigón [15], la cual permite mejor distribución de las cargas de tránsito y evita el ahuellamiento y las ondulaciones más allá del tiempo de permanencia de la caga, lo cual además deriva en un mejor drenaje y reducción de espray. Por otro lado, su inalterabilidad ante combustibles y lubricantes los hace especialmente confiables en zonas con derrames frecuentes (curvas, zonas de detención o estacionamientos). Finalmente, la utilización de HRF en vez de hormigón convencional aporta una mucho mayor tenacidad y resistencia al impacto.

Conclusiones

La utilización de capas de refuerzo de HRF se presenta como una alternativa competitiva desde el punto de vista técnico y económico, respecto a las tareas de repavimentación parcial y bacheos extendidos con concreto asfáltico utilizados habitualmente para la conservación de las condiciones de servicio de rutas y autopistas en la Argentina y gran parte del mundo.

Las capas de refuerzo de HRF presentan particular ventaja en los sectores en los cuales el ahuellamiento es el principal factor de deterioro, ya que la rigidez propia del material elimina las deformaciones permanentes localizadas tanto en la misma capa como en las capas subyacentes por una mayor distribución de los esfuerzos. Esta problemática se ajusta fuertemente al caso local analizado y se ve reproducida en gran parte de la Red Vial Nacional, por lo cual sería recomendable el análisis del eventual uso de capas de refuerzo de HRF al evaluar las tareas de mantenimiento en sectores de deterioro frecuente donde la principal causa sea el ahuellamiento y la intervención se prevea en un sector extenso.

Referencias

[1] The AASHO Road Test Report 7, Summary Report, HIGHWAY RESEARCH BOARD of the NAS-NRC Division of Engineering and Industrial Research, Special Report 61G, Publication No. 1061, National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, D.C., (1962).

[2] Pengfei Liu, Frédéric Otto, Dawei Wang, Markus Oeser, Henning Balck, Measurement and evaluation on deterioration of asphalt pavements by geophones, Measurement, Volume 109, 2017, Pages 223-232, ISSN 0263-2241,
https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.05.066.
(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224117303743)

[3] M5.1. Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles, Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica, Colección de Documentos, Volumen nº 11, 2002

[4] Pliego de Especificaciones Técnicas Generales - Corredores Viales S.A. - Tramos VII, VIII, IX y X, https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/petg_cvsa_tramos_vii_viii_ix_x.pdf

[5] Sharad.S.Adlinge, Prof.A.K.Gupta, Pavement Deterioration and its Causes, IOSR Journal of Mechanical & Civil Engineering (IOSR-JMCE) ISSN: 2278-1684, PP: 09-15 www.iosrjournals.org

[6] Evaluación de la respuesta mecánica de overlays de Hormigón con fibras sobre sustrato de concreto Asfáltico, F. Morea, M.C. Torrijos, G. Giaccio, R. Zerbino, Ciencia y Tecnología de los Materiales, Revista N° 3, 2013, pp 19 -31.

[7] Bordelon, A. C., Roesler, J. R., Design with Fiber-Reinforcement for Thin Concrete Overlays Bonded to Asphalt, (2011), ASCE Journal of Transportation Engineering, 2012, 138:430-435.

[8] Fava C., Fornasier G., Schvartzer F.y Zitzer L., Recubrimientos Ultradelgados de Hormigón: Aplicación en Pavimentación Urbana, Revista Hormigonar de la Asociación Argentina de Hormigón Elaborado, Edicion N°1, Buenos Aires, 2003, 12-17.

[9] Turatsinze et al., Bonded cement-based material overlays for the repair, the lining or the strengthening of slabs pavements, Chapter 6 Debonding, RILEM State of the Art Reports, 2011

[10] Makara Rith, Young Kyu Kim, Seung Woo Lee, Jun Young Park b, Seung Hwan Han, Analysis of in situ bond strength of bonded concrete overlay, Construction and Building Materials 111 (2016) 111–118

[11] Turatsinze, A., Granju, J.L., Sabathier, V. et al., Durability of bonded cement-based overlays: effect of metal fibre reinforcement, Mat. Struct. 38, 321–327 (2005). https://doi.org/10.1007/BF02479297

[12] Tran QT, Toumi A, Turatsinze A. Mater Struct, Modelling of debonding between old concrete and overlay: fatigue loading and delayed effects, 2007;40:1045–59.

[13] Tayeh BA, Abu Bakar BH, Megat Johari MA, Characterization of the interfacial bond between old concrete substrate and ultra high performance fiber concrete repair composite, Materials and Structures DOI 10.1617/s11527-012-9931-1, 2013;46(5):743–53.

[14] Perez F., Bissonnette B. y Gagne R., Parameters affecting the debonding risk of bonded overlays used on reinforced concrete slab subjected to flexural loading, Materials and Structures 42, (2009),645–662.

[15] Luna Castro M., García Depestre R., Orta Amaro P., Aplicación de la tecnología whitetopping en un tramo de la carretera: circuito sur - Topes de Collantes, Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 13, núm. 3, Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, 2019

[16] ACPA, “Load - Carrying Capacity Calculator of UTW”, http://www.pavement.com/,2003

[17] AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., 1993

[18] https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/vialidad-nacional/institucional/informacion-publica/tmda

PREVENCIÓN DE FISURAS EN PAVIMENTOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Uguet Martín E, Larsen Diego O, Williams Eduardo A, Daguerre Lisandro, Frígoli Elisa

Unidad de Investigación. y Desarrollo Ingeniería Civil (UIDIC) Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. La Plata – Argentina. 48 y 115 e-mail: uidic@ing.unlp.edu.ar

Resumen

Entre las patologías más comunes en los pavimentos asfálticos pueden observarse las fisuras reflejas que se manifiestan superficialmente y que son causadas por efectos térmicos y/o fatiga del material. Este fenómeno trae aparejadas consecuencias como el ingreso de agua y distintos materiales que conllevan a una rotura aún mayor de la carpeta asfáltica, obligando a la intervención localizada para efectuar reparaciones. Por ese motivo es que, a lo largo de los años se ha intentado mitigar e incluso eliminar el efecto de la fisuración en las mezclas asfálticas. Entre los métodos comúnmente utilizados, se destaca la aplicación de capas de pequeño espesor y muy flexibles, de manera que se produzca la absorción de los esfuerzos que producen el daño. En Argentina, el material comúnmente utilizado para esta tarea es denominado arena–asfalto o capa SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer)

Si bien no se trata de una novedad en nuestro país, en el presente estudio se muestran ejemplos de los que se ha realizado seguimiento y ensayos de laboratorio que permiten entender mejor el comportamiento de distintas mezclas.

1 Introducción

Uno de los problemas de los pavimentos asfálticos es la aparición de fisuras superficiales, originadas en las capas inferiores, también conocida como fisuración refleja [1]. Este fenómeno “consiste en la propagación de fisuras a través de la capa bituminosa hasta aparecer en la superficie del pavimento, como consecuencia de esfuerzos en la capa de rodadura” [2]. Durante varios años, ingenieros de distintas partes del mundo han intentado mitigar este tipo de fallas, construyendo nuevas capas de pavimento por encima. Existen diferentes métodos para el control de este tipo de problemática tales como: geotextiles, geomallas, construcción de capas de mezclas en frío de delgado espesor, o construcción de capas de arena asfalto, entre otros. En el caso del presente trabajo, se abordará el caso de la construcción de capas de arena asfalto.

1.1 Definición y usos

A nivel internacional, las arenas asfalto pertenecen al grupo de las SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer o Membrana Aliviadora de Tensiones Intercapa). Este tipo de materiales, suele utilizarse durante la construcción de pavimentos y se lo coloca, habitualmente, entre una capa de pavimento existente (generalmente fisurada) y una nueva [3].

Los SAMI, son materiales elásticos, que permiten que se produzca el retardo en la reflexión de fisuras a las nuevas capas de pavimento. Una utilización muy habitual de las arenas asfalto es para la construcción de pavimentos asfálticos por encima de losas de hormigón o bases y sub bases rígidas. Estos tipos de estructuras, de gran rigidez, suelen fisurarse provocando, a lo largo del tiempo, fisuración refleja en la carpeta. La interposición de una capa de arena asfalto de pequeño espesor, da como resultado el retardo de la fisuración y, por consiguiente, una mayor vida útil del pavimento.

En nuestro país, se define como mezcla arena asfalto en caliente (MAAC), a la combinación de un ligante asfáltico (convencional o modificado), agregados (incluido Filler) y eventualmente aditivos; elaboradas en plantas a tal efecto y colocadas en obra a temperatura muy superior a la ambiente.

En Argentina, la normativa de base está dada desde el año 2017, por el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales (PETG) de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) [4]. Asimismo, se indica, que los organismos provinciales pueden adoptar su propia reglamentación, aunque generalmente siguen los lineamientos nacionales.

Si bien se mencionó que este tipo de material se encuentra especificado a nivel nacional desde el año 2017, tanto anteriormente como en otros ámbitos ha sido utilizado. A continuación, se presentará un análisis general para comprender el comportamiento del material, como así también algunos casos de aplicación.

2. Desarrollo y Discusión

Como ya se explicó, desde el punto de vista técnico, la utilización de arenas asfalto debe analizarse como la interposición, en el paquete estructural del pavimento, de una capa no portante de pequeño espesor que permita la absorción de esfuerzos generados por las fisuras. Esta situación implica un minucioso diseño en laboratorio y el posterior análisis de su comportamiento.

2.1 Estudio de laboratorio

Para proceder con los posibles diseños de mezclas asfálticas que posean las prestaciones adecuadas, la selección de materiales resulta una tarea compleja en la que debe tenerse en cuenta no sólo sus características intrínsecas, sino también la disponibilidad comercial y costo de los mismos. Siendo el ligante asfáltico el componente que más peso tiene en los costos, se optó por analizar dos posibilidades, que permitan alcanzar el objetivo buscado a un costo razonable. De esta manera, se procedió con un análisis comparativo de una MAAC con asfalto modificado AM3 y otra con asfalto convencional CA-20, en ambos casos con el mismo esqueleto granular, que puede apreciarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición granulométrica de la mezcla adoptada.

Tamices	Composición de la fórmula
	Porcentaje en peso que pasa
9,5 mm	100,0
4,75 mm	95,4
2,36 mm	72,3
600 µm	41,6
300 µm	30,1
75 µm	13,0

Por otra parte, ambos ligantes asfálticos fueron caracterizados en función de lo establecido en la normativa vigente en nuestro país. Debe tenerse en cuenta que en el presente estudio comparativo, se trata de algo elemental, debido a que éste es el componente que varía de una mezcla asfáltica a la otra. Los ensayos realizados fueron: Determinación de la Viscosidad Rotacional (IRAM 6837), Recuperación Elástica por Torsión (IRAM 6830), Determinación del grado de performance del ligante asfáltico (PG), Realización del ensayo de MSCR (Multi Stress Creep Recovery) (AASHTO T 350). Cabe destacar que estos dos últimos ensayos, caracterizan el comportamiento reológico del material. Los resultados obtenidos pueden observarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Ensayos sobre los asfaltos.

Ensayo			Ligante Asfáltico	
			CA-20	AM 3
Viscosidad [Poise]	60 ºC		2471	-
	135 ºC		4,847	54
	150 ºC		2,394	17,128
	170 ºC		1,092	5,954
	190 º C		-	2,831
Retorno elástico por torsión [%]			2	75
PG			58	70
PG	58 ºC	G*	2,50	3,87
		δ [º]	84,1	65,2
		G*/ sin δ	2,52	4,26
	70 ºC	G*	0,453	1,33
		δ [º]	87,9	67,0
		G*/ sin δ	0,453	1,44
MSCR	$J_{nr\ 0.1}$ (58 ºC) [kPa^{-1}]		4,82	-
	$J_{nr\ 3.2}$ (58 ºC) [kPa^{-1}]		5,88	-
	$J_{nr\ diff}$ (58 ºC) [%]		21,81	-
	$J_{nr\ 0.1}$ (70 ºC) [kPa^{-1}]		-	1,43
	$J_{nr\ 3.2}$ (70 ºC) [kPa^{-1}]		-	4,15
	$J_{nr\ diff}$ (70 ºC) [%]		-	190,68

Una vez caracterizados los materiales componentes, se procedió con el diseño de las mezclas asfálticas. En este caso, se buscó que los parámetros volumétricos sean idénticos en ambos casos, a fin de poder efectuar el estudio comparativo entre el uso de un ligante asfáltico u otro. Luego de una serie de formulaciones, se arribó a que el porcentaje óptimo de asfalto se encontraba en un 6,8 %. En la Tabla 3, pueden observarse los parámetros volumétricos de las mezclas.

Tabla 3. Parámetros volumétricos.

Ensayo	Mezcla asfáltica	
	Con CA-20	Con AM 3
Densidad aparente [g/cm^3]	2,398	2,401
Densidad Rice [g/cm^3]	2,525	2,529
Vacíos [%]	5,0	5,1
Vacíos del Agregado Mineral [%]	21,4	21,4
Vacíos Ocupados por Betún [%]	76,4	76,3

Es importante destacar, que el porcentaje de vacíos buscado era similar al alcanzado en obra, de manera tal de poder replicar en laboratorio el comportamiento de la mezcla de campo.

Finalmente, y con el objetivo de obtener un valor que permita entender el comportamiento del material frente a la fisuración, se procedió a evaluar el módulo dinámico resiliente. Este estudio de performance, permite conocer mediante un ensayo de ciclos de carga y descarga dentro del régimen elástico, cuál será su comportamiento. A medida que aumenta el valor de módulo, la mezcla asfáltica tenderá a trabajar como un rígido; mientras que, para valores bajos de módulo, se tendrá un comportamiento más bien viscoso. Asimismo, se aclara que este ensayo, no sólo se efectuó según las condiciones típicas (20º C – 2 Hz), sino que también se decidió realizar un análisis considerando distintas frecuencias y distintas temperaturas. De esta manera, no sólo pudo observarse la susceptibilidad del módulo dinámico frente a las variaciones de los parámetros antes descriptos, sino también, que se construyó una curva maestra.Los resultados obtenidos, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Módulo dinámico resiliente.

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico Resiliente [MPa]					
	Con CA-20			Con AM 3		
	5 ºC	20 ºC	30 ºC	5 ºC	20 ºC	30 ºC
0,5	8082	1967	875	5280	1404	853
1,0	9001	2275	976	5976	1626	921
2,0	9898	2891	1004	7080	2064	1025
2,5	10147	3102	1078	7324	2173	1093
4,0	10766	3626	1328	8003	2495	1144

A simple vista puede detectarse que la MAAC con AM3, posee menor rigidez que la MAAC con CA-20. Asimismo, puede detectarse que el intervalo de valores en el que se encuadra la MAAC con AM3 es menor que en el que se mantiene la MAAC con CA-20, esto indica que la primera de ellas presenta menor susceptibilidad térmica respecto a la segunda.

Con los datos obtenidos, se realizaron los cálculos de las curvas maestras de ambos materiales para distintas temperaturas. El ajuste se realizó mediante la utilización de una función sigmoidal. En la Figura 1 se muestra la curva maestra para la MAAC con CA-20 para una frecuencia dada (2 Hz), mientras que en la Figura 2, se presenta la curva maestra para la MAAC con AM 3 bajo las mismas condiciones que la anterior

Figura 1. Curva Maestra. MAAC con CA-20.

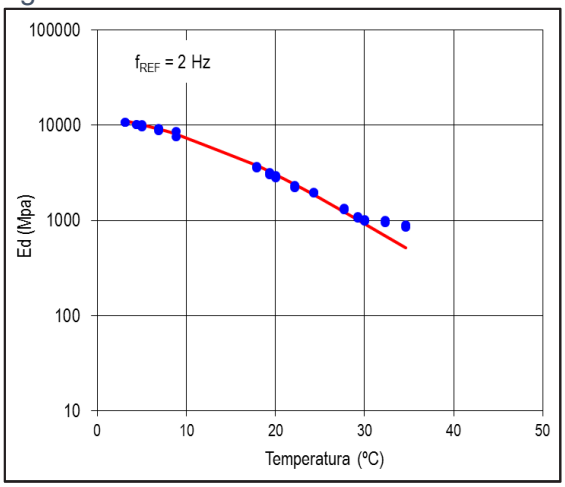
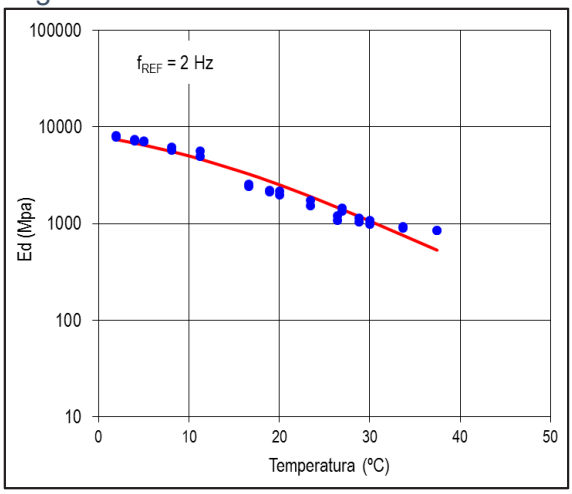


Figura 2. Curva Maestra. MAAC con AM3.



2.2 Estudios en campo

En este apartado se detallarán algunos ejemplos de mezclas con arena asfalto utilizadas en nuestro país. Se trata de obras de distintos lugares y bajo la órbita de distintas reparticiones. Cabe aclarar que las obras enunciadas no son las únicas en las que se utilizó una mezcla de arena asfalto como sistema antirreflejo de fisuras, sino que sólo se las destaca porque presentan materiales de diferentes características. Asimismo, se aclara que las condiciones iniciales en cada obra eran totalmente diferentes, así como el proyecto llevado a cabo.

2.2.1 Camino Parque del Buen Ayre

El Camino Parque del Buen Ayre, es una autopista que funciona como camino alternativo que conecta Acceso Oeste y Acceso Norte, en el Gran Buenos Aires. Cuenta con una extensión aproximada de 23 kilómetros y tres carriles por mano, y es atravesada por casi dos millones de usuarios mensualmente. A mediados de 2012 se dio inicio a las obras de puesta en valor de la traza.

La reglamentación general utilizada para el resto de la obra fue el Pliego Único de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad, en su versión del año 1998, que no incluía en sus lineamientos a la Arena Asfalto como mezcla asfáltica ni al asfalto modificado AM3, como ligante asfáltico. Por lo tanto, se debió precisar estos puntos en la Especificación Técnica Particular. En la memoria descriptiva de la obra se indica que en el carril rápido y sobre la tosca arena asfalto, se previó la construcción de una capa de arena asfalto de dos centímetros de espesor compactada, realizada con asfalto modificado AM3 [5].

2.2.2. Ruta Provincial Nº 75

En el año 2017, la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, realizó un plan de mejoras en su red, dentro del cual se encontraba un tramo de 36 kilómetros de la Ruta Provincial Nº 75, entre la localidad de Energía y el Arroyo Cortaderas. El nuevo paquete estructural de dicha obra estaba conformado por: Capa Niveladora de Arena Asfalto CA-20, en 0,025 m de espesor, colocación de geogrilla, Base granular asfáltica con CA-30 en 0,05 m de espesor y Carpeta de concreto asfáltico con asfalto CA-30 y mezcla CAC D 12 de 0,04 m de espesor [7].

La importancia de analizar esta obra, radica en el estado en que se encontraba antes de su intervención. La carpeta asfáltica presentaba en todo el tramo, un estado generalizado de fisuración en malla (piel de cocodrilo, tipo 10), sin pérdida de perfil. No se detectaron baches de consideración, sólo casos muy puntuales.

En abril de 2020 (a casi un año de finalizada la obra), se realizó una inspección visual por toda la traza intervenida. En dicho recorrido se tomaron fotografías en las que se podía apreciar el estado de la calzada. Es muy importante destacar, que no se detectó ninguna fisura.

Figura 3. (Izquierda). Ruta Provincial Nº 75. Tramo finalizado. Figura 4. Derecha. Ruta Provincial Nº 75. Tramo finalizado.





3 Conclusiones

Existen diferentes métodos para retardar la aparición de fisuración refleja. Es importante destacar el término “retardar”, ya que es muy difícil predecir si dicha falla aparecerá.

Se observaron ejemplos de la utilización de mezclas del tipo arena asfalto en los últimos seis años. En los ejemplos indicados en el presente trabajo, no se han manifestado casos de fisuración. Asimismo, se recomienda realizar el seguimiento por períodos de tiempo más prolongados.

Un caso al que se le debe prestar singular atención es al de la Ruta Provincial Nº 75, ya que muchos de los caminos de nuestro país presentan situaciones similares. En diversas ocasiones, se intentan retirar las bases no ligadas (que en realidad no presentan fallas) aumentando los costos de las obras y generando, en muchas ocasiones, malas condiciones de apoyo.

No obstante ello, debe conocerse y estudiarse el estado y composición de las bases no ligadas presentes, ya que muchas de las rutas de nuestro país fueron construidas en la década de 1970 con el auge de las bases de Tosca-Arena-Asfalto, de excelente comportamiento dada por su alta rigidez, lo que facilitó la absorción y disipación de tensiones generadas por el tránsito. Muchas de estas bases han visto agotada su capacidad para disipar las cargas, manifestándose como un proceso de fatiga en las mismas, con la aparición de fisuras reflejas en las capas de rodamiento.

De los ensayos de laboratorio realizados, pudo observarse, como era de esperar, un mejor comportamiento de la mezcla tipo arena asfalto con AM3. Dicho material presentó una rigidez menor que la mezcla con CA-20. Asimismo, se detectó la menor susceptibilidad térmica de la mezcla a bajas temperaturas con AM3 (producto del asfalto utilizado). Ese efecto resulta beneficioso, ya que se busca que la mezcla no se rigidice al disminuir la temperatura.

Teniendo cuenta que el costo de los asfaltos modificados es mayor que el de los ligantes convencionales, y si se arriba a que la vida útil alcanzada mediante la utilización de estos últimos es aceptable, podría lograrse una reducción de costos de intervención anticipada notable y un mejor aprovechamiento de recursos en nuestras obras. Asimismo, se destaca, que al tratarse las arenas asfalto de materiales deformables, se debe estudiar su comportamiento frente al ahuellamiento.

4 Bibliografía

[1] Ogundipe, O. M. (2011). Mechanical behaviour of stress absorbing membrane interlayers. Nottingham.

[2] Bravo Molina, L. S., Ortega Bohórquez, D. C., & Torra Calderón, G. R. (2008). Capas anti-reflejo de fisuras en pavimentos. Bucamaranga: Universidad Industrial de Santander - Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.

[3] RILEM. (2005). Rilem Report 18 - Prevention of reflective Cracking in Pavements. Londres: Taylor & Francis e-Library.

[4] Dirección Nacional de Vialidad. (2017). Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Mezclas Arena Asfalto en Caliente y Semicaliente.

[5] CEAMSE. (2010). Pliego de Especificaciones Técnicas - Camino Parque del Buen Ayre.

[6] Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires. (s.f.). Pliego de Especificaciones Técnicas: RP Nº 75 - Repavimentación y alteo.

ESTUDIO COMPARATIVO DE MODELOS NO LINEALES PARA EL ANÁLISIS DEL PROCESO DE FISURACIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

Zappitelli, M. Paula[1], Villa, Ignacio[1], Rocco, Claudio[1]

[1]Departamento de Construcciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Plata. Calle 48 y 115 s/n, (B1900TAG) La Plata, Buenos Aires, República Argentina
paula.zappitelli@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Modelos no lineales, hormigón, fisuración por contracción, estados tensionales uniformes

1. INTRODUCCIÓN

Para el estudio numérico del proceso de fisuración en estructuras de hormigón es necesario utilizar modelos no lineales que permitan determinar tanto la edad de fisuración, como la localización de dichas fisuras.

Si el hormigón recientemente endurecido e independientemente de que esté sometido o no a la acción de cargas externas es expuesto a la temperatura ambiente y a la humedad generalmente sufre una contracción térmica, debido a los gradientes de masa y de superficie que se generan como consecuencia del calor liberado durante la hidratación del cemento. A su vez, debido a la pérdida de humedad de la mezcla que tiene lugar durante el proceso de fraguado, el hormigón también sufre una contracción por secado [1]. Dependiendo de la geometría analizada (espesor, superficie expuesta, forma), este tipo de fenómenos generan estados tensionales uniformes en las estructuras.

En el presente trabajo se propone comparar los resultados obtenidos con el Modelo de fisuración cohesiva, un modelo de plasticidad con daño y el Método de los elementos finitos extendido (XFEM), para determinar cuál de estos modelos es el más adecuado para simular el proceso de fisuración en una estructura de hormigón masivo.

En el segundo apartado se describen brevemente los modelos mencionados. Luego, en el tercer apartado se presenta el problema analizado y los parámetros requeridos por cada uno de los modelos. Por último, en el cuarto apartado se analizan los resultados obtenidos y en el quinto apartado se presentan las principales conclusiones del trabajo.

2. MODELOS NO LINEALES ANALIZADOS

Modelo de fisuración cohesiva (MFC)

El Modelo de Fisura Cohesiva (MFC) considera la existencia de una fisura ficticia capaz de transmitir tensiones a través de sus caras. Este modelo se basa en dos cuestiones, por un lado, considerar que al someter a una probeta de hormigón a un estado de tracción uniaxial, luego de alcanzar la carga pico todas las deformaciones se localizan en la fisura que divide a la probeta en dos partes. Por otro lado, tener en cuenta la evolución de la fisura desde la probeta en estado intacto hasta la rotura, [2].

Estas consideraciones demostraron que la transición desde un valor máximo de la tensión hasta un valor nulo es gradual y no instantánea. Además, luego de la carga pico las deformaciones se localizan en una región muy angosta, la cual se convertirá en una fisura visible, mientras que el resto del sólido permanecerá descargado. La tensión transferida a través de la fisura (σ) es función de su apertura (w), σ =f(w). f(w) es una función característica del material y se denomina función de ablandamiento [2], [3].

Modelos de plasticidad con daño

Los modelos basados en plasticidad permiten modelar el comportamiento del hormigón bajo un estado triaxial de tensiones. La separación de las deformaciones en su parte elástica y plástica representa en forma realista las deformaciones que se observan en compresión confinada, [4-5].

Los modelos de mecánica de daño se basan en el concepto de reducción gradual de la rigidez. Para modelos continuos de la mecánica de daño basados en deformaciones, el proceso de evaluación de las tensiones es explícito, lo cual permite una determinación directa del estado tensional, sin la realización de un proceso de cálculo iterativo. Estos modelos describen adecuadamente la degradación de la rigidez en tracción y bajo cargas bajas de compresión confinada concordando con los resultados observados en los ensayos de laboratorio, [6-7].

Sin embargo, los modelos basados en plasticidad no pueden describir la reducción de la rigidez frente a la descarga observada en ensayos reales. Por otro lado, los modelos de daño continuo no permiten considerar las deformaciones irreversibles, y se encuentran principalmente limitados a estados de tracción y bajos valores de compresión confinada. Por este motivo, la combinación de plasticidad y mecánica de daño continuo permiten modelar en forma adecuada el comportamiento no lineal del hormigón, ya que en este caso se tienen en cuenta las deformaciones irreversibles luego del proceso de descarga y la degradación de la rigidez, [8-9].

Modelos de los elementos finitos extendido (XFEM)

La modelación del proceso de propagación de fisuras utilizando una malla de elementos finitos resulta ser un problema complejo debido a que debe discretizarse la discontinuidad y la punta de la fisura en forma precisa, y además incluirse modificaciones en la topología de la malla que permitan simular el proceso de propagación de la fisura a medida que avanza el análisis. Esto representa una operación costosa, desde el punto de vista computacional, pero también puede tener un impacto negativo en la calidad de los resultados. En este contexto surge XFEM, método en el que el crecimiento de las fisuras puede modelarse sin remallado, en el cual las fisuras se representan a través de funciones de enriquecimiento, [10]. XFEM representa una extensión del Método de los Elementos Finitos convencional basada en el concepto de partición de la unidad, según el cual la suma de las funciones de forma debe ser igual a uno, [11].

3. PROBLEMA ANALIZADO

Para comparar el funcionamiento de los modelos estudiados se propone analizar el proceso de fisuración de un elemento masivo de hormigón de 6 m de largo y 2 m de altura, empotrado en su base y sometido a una contracción uniforme representada mediante una variación de temperatura de -40°C a lo largo de 5 días. Las propiedades mecánicas del hormigón utilizado se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades mecánicas del hormigón analizado

Propiedades Mecánicas del hormigón	
f_{c28}	38 MPa
f_{ct28}	2.9 MPa
E_{28}	34000 MPa
α	1e-5 $\frac{1}{°C}$
ν	0.2
δ	2.45e-5 Kg/m^3
w_c	0.0655 mm

Es importante mencionar que cada uno de los modelos requiere la adopción de propiedades adicionales las cuales se indican a continuación.

Modelo de fisuración cohesiva (MFC)-Elementos cohesivos

En este caso es necesario definir un valor de rigidez (*K*) tal que asegure que la contribución del elemento cohesivo a la deformación global de la estructura sea lo suficientemente pequeña comparada con la deformación volumétrica obtenida a partir de las ecuaciones constitutivas. De esta forma se asegura una conexión rígida entre los elementos finitos convencionales, vinculados entre si mediante los elementos cohesivos, antes que comience el proceso de fisuración, [12]. A partir de una serie de simulaciones se adoptó un valor de *K* igual a 100 veces el valor del módulo de elasticidad.

Por otro lado, se adoptó una ley de ablandamiento lineal, se utilizaron 10117 elementos CPS4 (elementos cuadrados de cuatro nodos en tensión plana) y 4958 elementos COH2D4 (elementos cohesivos de cuatro nodos). Como al inicio del análisis no se conoce el lugar de aparición de la fisura se incorporaron elementos cohesivos en todas las interfases verticales de la malla de elementos finitos.

Modelo de plasticidad con daño

Este modelo requiere una serie de parámetros adicionales que se indican a continuación. ω (35º) representa el ángulo de fricción interna, *e* (1) es la excentricidad, es decir, la tasa a la cual la función de flujo plástico alcanza la asíntota, σ_{b0}/σ_c (1.2) es la relación entre la tracción y la compresión biaxial y *K* (0.67) es un factor que representa la relación entre el segundo invariante de la tensión en el meridiano de tracción respecto al meridiano de compresión en la fluencia inicial, para cualquier valor del invariante de presión. En este caso se utilizaron 4800 elementos CPS4 (cuadrados de cuatro nodos en tensión plana). Se utilizaron una ley tensión-desplazamiento y de daño lineales.

Los modelos de comportamiento de materiales que presentan ablandamiento y degradación de rigidez a menudo tienen severos problemas de convergencia en programas de análisis implícito. Algunas de estas dificultades pueden resolverse utilizando regularización viscoplástica de las ecuaciones constitutivas. En el caso del modelo analizado esta regularización viscoplástica permite que las tensiones se encuentren por fuera de la superficie de fluencia. Se adoptó un valor igual a $2E^{-8}$, [13]

Método de los elementos finitos extendidos (XFEM)

La aplicación del método XFEM consiste en el enriquecimiento de los nodos de la malla de elementos finitos a partir de la definición de una nueva función de forma para los mismos. La geometría del problema analizado está constituida por una única parte, por lo que se aplica un único enriquecimiento en la misma.

Se utilizaron 4800 elementos CPS4 (cuadrados de cuatro nodos en tensión plana), se adoptó una ley de ablandamiento lineal y un coeficiente de regularización viscoplástica igual a 0.01.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo de fisuración cohesiva (MFC)

Para estimar el tiempo de aparición de fisuras se determinó en los elementos cohesivos la variable SDEG, la cual varía entre 0 y 1. El valor 1 representa a un elemento cohesivo

completamente abierto, es decir, cuando la fisura deja de ser ficticia y pasa a representar una fisura real. En la Figura 1 se presenta el patrón de fisuración obtenido.

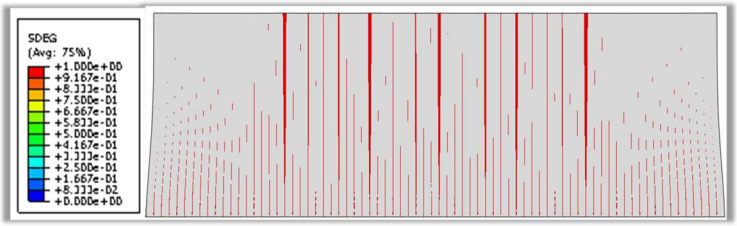


Figura1. Patrón de fisuración obtenido empleando MFC

Se observa que en todas las zonas en las que se colocaron elementos cohesivos la variable SDEG alcanzó el valor 1, lo cual significa que en esas zonas aparecieron fisuras. Si en el problema analizado se coloca menor cantidad de elementos cohesivos se obtiene una menor cantidad de zonas fisuradas, ya que para este problema siempre se activan todos los elementos cohesivos. Esto se comprobó a través de distintas simulaciones. Por este motivo los resultados obtenidos, para el problema analizado, dependen de la cantidad de interfases en las que se encuentran presentes este tipo de elementos.

Modelo de plasticidad con daño

Se ha demostrado que este modelo de plasticidad con daño es dependiente del tamaño de la malla por lo que se realizó un análisis de sensibilidad para evitar la influencia del tamaño de los elementos en los resultados. Se consideraron elementos cuadrados de 150 mm, 100 mm, 50 mm, 40 mm, 25 mm y 12.5 mm de lado. A partir de la utilización de elementos de 50 mm de lado no se observan variaciones considerables en los resultados, ver Tabla 2. Por este motivo la longitud de lado de los elementos utilizados en el análisis fue de 50 mm.

Por tratarse de un modelo continuo no tiene incorporado el concepto de desarrollo de fisuras en el punto de integración material. Sin embargo, pueden definirse zonas dañadas medidas mediante la variable de daño en tracción DAMAGET, la cual varía entre 0 y 1, representando este último valor una zona completamente dañada, ver Figura 2.

Tabla 2. Análisis de sensibilidad de malla Modelo de plasticidad con daño. Edad de fisuración

Longitud del lado del elemento [mm]	Tiempo de aparición fisuras [hs]
150	45.6
100	42.24
50	32.16
40	31.94
25	32.4
12.5	32.22

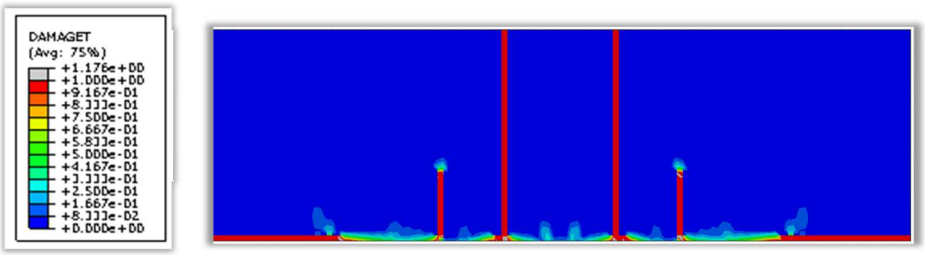


Figura 2. Variable de daño del bloque en estudio

A partir del análisis realizado se observa una zona dañada en el lado inferior del bloque, correspondiente con la ubicación del empotramiento, ya que la restricción impuesta por el mismo genera el desarrollo de tensiones altas que superan la resistencia a tracción. Se observa que esas zonas dañadas progresan hacia el interior del bloque, alcanzando el lado superior del mismo.

Método de los elementos finitos extendido (XFEM)

En la zona inferior del bloque se generan tensiones altas debido a la restricción provocada por el empotramiento, por lo que se supera el criterio de inicio de daño, lo cual da lugar a la aparición de dos fisuras en los extremos inferiores, como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Patrón de fisuración obtenido aplicando XFEM para el bloque en estudio

XFEM solo permite la aparición de una fisura por enriquecimiento, a menos que sean varias fisuras simultáneas. Esto significa que en el problema que se analizó no podrán evidenciarse otras fisuras, además de las generadas en los extremos del empotramiento, aunque en otras zonas se alcance el criterio de inicio de daño, ya que ABAQUS solo permite definir un enriquecimiento en este problema.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se propone determinar el modelo más adecuado para el estudio del proceso de fisuración en estructuras de hormigón sin presencia previa de defectos y sometidas a un estado tensional uniforme, por ello el problema que se propuso estudiar fue el de un elemento masivo de hormigón intacto sometido a contracción térmica.

A partir de los resultados obtenidos puede concluirse que el método XFEM con un solo enriquecimiento no es adecuado, ya que solo permite que en cada enriquecimiento se genere una fisura, o más de una siempre y cuando las mismas ocurran de manera simultánea, [14]. En el caso analizado solo puede definirse un enriquecimiento, ya que no se dispone de un criterio para determinar una subdivisión que permita mantener la mayor generalidad posible en el problema. Por este motivo al generarse las fisuras en la proximidad de los apoyos debido a un efecto de borde, queda vedada la posibilidad de aparición de una fisura adicional no simultánea con las mismas.

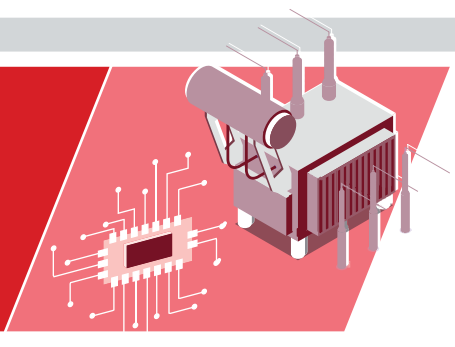
En cuanto a la utilización del Modelo de Fisuración Cohesiva, mediante el empleo de elementos cohesivos, puede decirse que la implementación del mismo en una estructura inicialmente intacta es considerablemente trabajosa, ya que implica la incorporación de elementos cohesivos en todas las interfases de los elementos convencionales. En el problema analizado únicamente se incorporaron en la dirección vertical, lo cual obliga a la utilización de una malla de elementos finitos relativamente fina con una gran cantidad de elementos, 15075 elementos frente a 4800 elementos en las mallas de los modelos XFEM y de plasticidad con daño, dando lugar a un considerable aumento del tiempo de cálculo. Además, los resultados obtenidos con este modelo para el caso analizado, dependen de la cantidad de interfases con elementos cohesivos utilizadas, ya que la estructura se encuentra intacta, es decir, sin fisuras, entallas o defectos previos.

Finalmente, si bien el modelo de plasticidad con daño es un modelo continuo que no permite definir el camino de la fisura, sino zonas dañadas, su implementación puede llevarse a cabo con mayor generalidad, al ser aplicado directamente a las propiedades del material en toda la masa de la estructura, sin la necesidad de definir un enriquecimiento en la misma, como en el caso de XFEM o adoptar un criterio para definir la cantidad de interfases con elementos cohesivos a utilizar. Además, las zonas dañadas permiten inferir los lugares en donde aparecerán fisuras. Por este motivo se concluye que el modelo de plasticidad con daño es el más adecuado para estudiar el fenómeno de fisuración por contracción en estructuras de hormigón inicialmente sin defectos y sometidas a estados tensionales uniformes.

BIBLIOGRAFÍA

[1] P. Kumar Metha, Paulo J. M. Monteiro. Concreto, estructura, propiedades y materiales. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 1998.
[2] A. Hillerborg, M. Modéer y P. E. Petersson. Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and Finite elements. Cement concrete research, vol. 6, páginas 773-782, 1976.
[3] ABAQUS. ABAQUS 6.13 Analysis User's Manual Volume IV: Elements. Dassault Systèms Simulia Corp., 2013.
[4] K. Willam y E Warnke. Constitutive model for the triaxial behavior of concrete. Concrete Structures Subjected to Triaxial Stresses, IABSE Report, vol. 19, páginas 1-30, 1974.
[5] G. Etse y K. Willam A fracture-energy based constitutive formulation for inelastic behavior of plain concrete. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, vol. 120, páginas 1983-2011, 1994.
[6] M. Kachanov. Continuum model of medium with cracks. Journal of the Engineering Mechanics Division, vol. 106, páginas 1039-1051, 1980.
[7] G. Voyiadjis. Z. Taqieddin. Y P. Kattan. Anisotropic damage plasticity model for concrete. International Journal of Plasticity, vol. 24, páginas 1946-1965, 2008.
[8] P. Grassl, X. Xenos, U. Nystrom, R. Rempling y K. Gylltoft. CDPM2: A damage-plasticity approach to modelling the failure of concrete. International Journal of Solids and Structures, vol. 50, páginas 3805-3816, 2013.
[9] O. Omidi, y V. Lotfi. Finite element analysis of concrete structures using plastic-damage model in 3-D implementation. International Journal of Civil Engineering, vol. 8 (3), páginas 187-203, 2010.
[10] T. Belytschko y T. Black. Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing. International journal for numerical method in engineering, vol. 45, páginas 601-620, 1999.
[11] J. Melenk y I. Babûska. The partition of unity finite element method: Basic theory and applications. Computer method in applied mechanics and engineering, vol. 139, páginas 289-314, 1996.
[12] A. Turon, C. G. Dávila, P. P. Camanho y J. Costa. An engineering solution for mesh size effects in the simulation of delamination using cohesive zone models. Engineering fracture mechanics, vol. 74, páginas 1665-1682, 2007.
[13] ABAQUS. ABAQUS 6.13 Analysis User's Manual Volume III: Materials. Dassault Systèms Simulia Corp., 2013.
[14] ABAQUS. ABAQUS 6.13 Analysis User's Manual Volume II: Analysis. Dassault Systèms Simulia Corp., 2013.

ELECTROTECNIA



ESTIMACIÓN SISTEMÁTICA DE PARÁMETROS DEL SISTEMA PULMONAR BAJO VENTILACIÓN MECÁNICA

Riva, Diego A.; Fornaro, Pedro O.; Evangelista, Carolina A.; Dargains, Nahuel; Corsiglia, Luis; Puleston, Paul F.

Instituto LEICI, UNLP-CONICET. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 48 y 115 (B1900ASH), La Plata, Buenos Aires, Argentina

e-mail: diego.ale.riva@gmail.com

Palabras Claves: Estimación, Modelado pulmonar, Identificación.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo es parte de una línea de investigación del Instituto LEICI, en el área de análisis y apoyo a pacientes ventilados mecánicamente. En la misma se orientan los trabajos al desarrollo de modelos matemáticos lineales y no lineales de la mecánica pulmonar, así como también a la mejora de las máquinas de respiración asistida y la optimización de tratamientos específicos del mismo.

En términos generales, los equipos de respiración asistida se utilizan cuando el paciente no puede suplir completa o parcialmente las demandas metabólicas relacionadas a la oxigenación de su organismo. Los modos ventilatorios de estas máquinas pueden ser asistida-controlada, donde el paciente puede iniciar el ciclo respiratorio, pero no es capaz de mantener una respiración espontánea (casos sin sedación profunda), o mecánica controlada, usada en casos donde el paciente tiene sedación profunda, shock, alteración neurológica importante o insuficiencia respiratoria grave [1].

A partir de modelos sencillos del sistema respiratorio, es posible conocer ciertos parámetros que describen al paciente. Éstos proveen al médico una forma de monitorear el estado fisiológico del mismo en tiempo real, permitiendo tomar decisiones sobre el tratamiento y valorar la respuesta a las intervenciones terapéuticas [2].

Muchos equipos de respiración asistida controlados por microprocesador contienen programas informáticos capaces de determinar los parámetros que describen estos modelos. Los más utilizados son lineales y estacionarios, describen la función de transferencia entre la presión en la zona bucal (considerada la variable de entrada) y el volumen corriente o *Tidal* (variable de salida) [3-4].

En particular, en este trabajo, se presentan dos técnicas de estimación que permiten obtener los parámetros de diferentes modelos del sistema pulmonar a partir de señales medidas en pacientes bajo respiración asistida. Estos modelos son dinámicos, descritos en el espacio de estados, y permiten ser utilizados para elaboración de herramientas que contribuyan a realizar evaluación, prospección y análisis de fisiopatologías respiratorias *in silico*, así como también para el diseño e implementación de los controladores automáticos requeridos por una moderna generación de equipos de asistencia respiratoria.

Ambos algoritmos utilizan herramientas de minimización de la función de mínimos cuadrados. La primera permite obtener un único vector de valores de los parámetros de los modelos por cada semiciclo respiratorio analizado, es decir, un juego de parámetros para la parte inspiratoria y otro juego para la espiratoria. La otra técnica utilizada entrega los valores de los parámetros del modelo eléctrico del sistema pulmonar en tiempo real.

Para validar estos modelos, la primera técnica cuantifica la similitud entre la respuesta de los modelos obtenidos y los datos medidos mediante el cálculo del índice de error cuadrático medio normalizad. La segunda técnica utiliza el cálculo del autovalor mínimo de la matriz de

covarianza para verificar la persistencia de la excitación y validar los parámetros encontrados en tiempo real.

2. DESARROLLO Y DISCUSION

2.1 Ecuación de movimiento y modelos del sistema pulmonar propuestos

La dinámica del sistema respiratorio puede describirse a partir de la ecuación de movimiento del sistema respiratorio [5]:

$$P_B = \dot{V} * R_{aw} + P_{RS}(V) - P_{Mus} \quad (1)$$

- P_B Presión medida en la boca del paciente.
- $\dot{V}$ Flujo de aire en las vías aéreas (derivada del volumen total).
- R_{aw} Resistencia del sistema respiratorio.
- $P_{RS}(V)$ Presión en el sistema toraco-pulmonar.
- V Volumen total contenido en el sistema pulmonar.
- P_{Mus} Presión aplicada por los músculos respiratorios.

La ecuación (1) establece una relación entre la presión aplicada por los músculos respiratorios (P_{Mus}) y el medido en el paciente (P_B) con el volumen (V) y flujo ($\dot{V}$) del sistema. Las propiedades resistivas están representadas por el flujo inspiratorio y la resistencia de las vías aéreas (R_{aw}). Las propiedades elásticas están determinadas por la relación entre el volumen total (V) y la presión toraco-pulmonar ($P_{rs}(V)$), llamada *compliance* del sistema respiratorio. Esta *compliance* está constituida por la de los pulmones y por la del tórax, pero en este trabajo se la tomará en una primera aproximación como un único elemento.

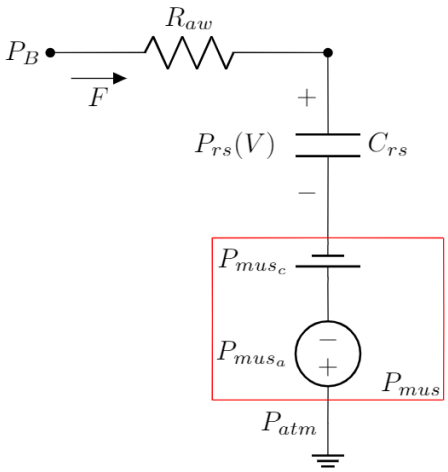


Fig. 1 Modelo eléctrico completo del sistema respiratorio bajo ventilación mecánica.

En la Fig. 1, se muestra un modelo equivalente eléctrico completo del sistema respiratorio.

La presión P_B representa la presión bucal del paciente ventilado mecánicamente, y es el punto donde se toman las señales utilizadas en este trabajo. A la presión ejercida por los músculos se la dividió también en dos componentes: la componente continua, P_{mus_c}, modela la presión necesaria que debe haber para que los pulmones mantengan el volumen FRC. La componente variable, P_{mus_a}, describe la presión ejercida por los músculos respiratorios que genera las variaciones de presión pleural, la cual posibilita la ventilación espontánea.

Describiendo la relación entre el volumen y la presión en el sistema toraco-pulmonar, queda definido el modelo. En este trabajo se han analizado dos enfoques, uno lineal y uno no lineal.

Modelo RC Lineal

La aproximación lineal de $P_{RS}(V_T)$ viene dada por:

$$P_{rs}(V) = V/C_{rs} \quad (2)$$

Reemplazando esta última ecuación en (1) se obtiene

$$P_B = \dot{V} * R_{aw} + V/C_{rs} - P_{Mus} \quad (3)$$

La ecuación (3) es la alternativa más difundida en la bibliografía. Es un modelo simple, el cual involucra la resistencia de las vías respiratorias (R_{aw}) y la *compliance* del sistema respiratorio (C_{rs}).

Modelo RC No Lineal

Con el fin de mejorar la descripción del sistema manteniendo una representación sencilla, se agrega un término más a la aproximación $P_{rs}(V)$, obteniéndose una función cuadrática como la siguiente:

$$P_{rs}(V) = a_1 * V + a_2 * V^2 \quad (4)$$

Reemplazando en la ecuación (1), se llega a:

$$P_B = \dot{V} * R_{aw} + a_1 * V + a_2 * V^2 - P_{Mus} \quad (5)$$

2.2 Algoritmos desarrollados

En esta subsección se explicarán las dos técnicas desarrolladas para la estimación de los parámetros de los modelos presentados. La primera de ellas obtiene un juego de valores para los parámetros de ambos modelos (lineal y no lineal) en cada semiciclo respiratorio, mientras que la segunda obtiene el valor de *Compliance* y Resistencia del modelo lineal en tiempo real.

Se aclara al lector que, en esta primera instancia, los pacientes con los cuales se probaron los algoritmos estaban sedados completamente, por lo tanto, la componente variable de P_{mus} es igual a 0.

2.2.1 Estimación por semiciclo (primera técnica)

El algoritmo de estimación divide el ciclo respiratorio en una parte inspiratoria, donde el flujo de aire medido se mantiene por encima de cero, y otra parte espiratoria, donde el flujo es negativo. En el primer ciclo respiratorio, se realiza la identificación del modelo lineal, tanto con los datos de la parte inspiratoria como con los de la parte espiratoria, inicializando ambos modelos con valores tomados de la bibliografía. En los ciclos respiratorios siguientes, se utilizan como vector inicial los parámetros obtenidos en el modelo del ciclo anterior.

Luego, los parámetros obtenidos se utilizan en la inicialización del modelo no lineal, y también se identifica para cada parte del ciclo respiratorio medido.

La herramienta utilizada para la identificación es *System identification Toolbox* de MATLAB®, la cual permite hallar el vector de parámetros que minimiza la función de mínimos cuadrados, utilizando el algoritmo *Levenberg-Marquardt* [6].

Por último, se realiza la validación de los modelos obtenidos en la estimación. Para ello, se utiliza el índice de error cuadrático medio normalizado para cuantificarla, dado por la siguiente ecuación:

$$NMRSE_{\%} = 100\left(1 - \frac{|V - \widehat{V}|}{|V - \bar{V}|}\right) \quad (6)$$

Donde V es la salida del sistema, $\bar{V}$ su valor medio y $\hat{V}$ la salida del modelo ajustado.

2.2.2 Estimación en tiempo real (segunda técnica)

La metodología propuesta combina diferenciadores por Modo Deslizante filtrante (DMDF) con un estimador por mínimos cuadrados recursivo (RLS) con factor de olvido, para lidiar con la variación temporal de los parámetros.

Los DMDF son utilizados para obtener en tiempo finito derivadas robustas de las señales de presión y flujo del paciente. Estas señales son utilizadas por un RLS con factor de olvido

para estimar los parámetros variantes del modelo lineal, descripto a través de la forma canónica generalizada de Fliess [7].

Por último, la metodología utilizada permite validar las estimaciones en tiempo real. Esto se hace cuantificando una cota para del error mediante una evaluación de la persistencia de las señales de entrada del algoritmo de estimación. En pocas palabras, la persistencia de la excitación permite determinar si de las señales de flujo, presión, y sus derivadas, es posible extraer la información necesaria para estimar los parámetros deseados.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En esta sección se presentan los resultados obtenidos al aplicar ambos métodos de estimación para el cálculo de parámetros del modelo pulmonar de un paciente ventilado mecánicamente.

3.1 Simulador de paciente bajo respiración asistida

En una primera etapa, se simuló el sistema pulmonar utilizando como entrada el flujo de un paciente real.

El simulador desarrollado (Fig. 2) utiliza un capacitor no lineal (Fig. 3) para describir la relación P-V. Con esto se busca representar la fisiología del sistema respiratorio de forma más realista, sin aumentar en gran medida la complejidad del mismo.

$$P_{rs}(V) = c - d\log\left(\frac{b}{(V-a)} - 1\right) \quad (7)$$

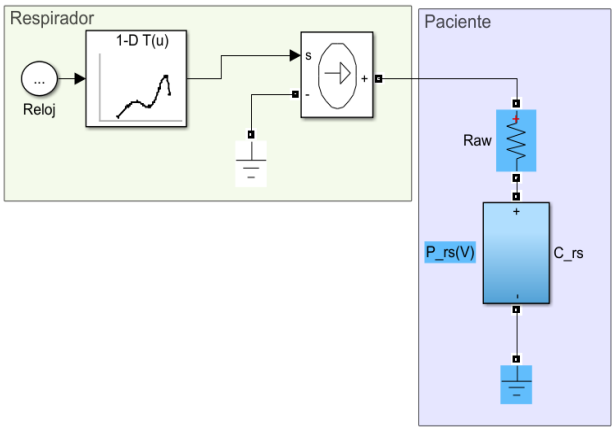


Fig. 2 Simulador de paciente sedado bajo respiración asistida, realizado en Simulink.

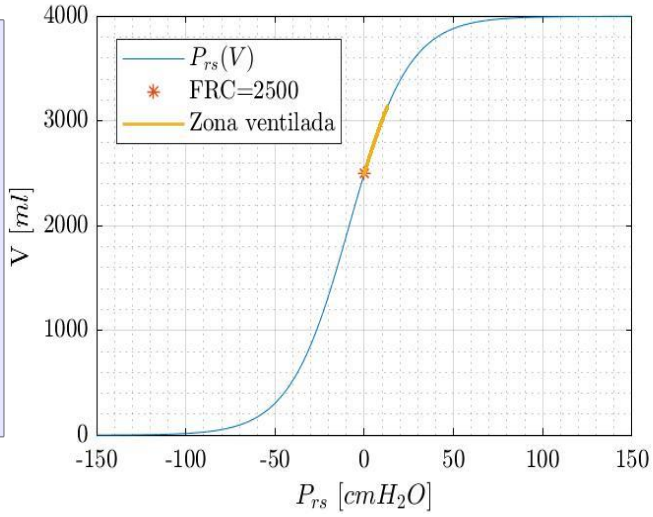


Fig. 3 Azul: Relación P-V de C_{rs} utilizado en el simulador de paciente bajo respiración asistida. Naranja: Zona donde el paciente está siendo ventilado.

3.1.1 Resultados con estimador en tiempo real.

En esta subsección se muestran los resultados de la evaluación realizada para el estimador de parámetros en tiempo real de la sección 2.2.2. Como ya se ha comentado, la señal de flujo utilizada para la evaluación de los algoritmos de estimación proviene de un paciente sedado, mientras que la señal de presión P_B utilizada se obtiene del simulador. En la Fig. 4 se muestran estas dos señales y la persistencia obtenida a partir de ellas. Para un mejor entendimiento de los resultados obtenidos, los ciclos inspiratorios se encontrarán resaltados con un fondo rosa.

En la Fig. 5 se grafican las evoluciones temporales de R_{aw} y C_{rs} reales (línea a trazos) y estimadas (línea continua).

Puede observarse que los resultados de simulación son altamente satisfactorios: las estimaciones se mantienen dentro de una banda de error inferior al 3%. En particular, debe

notarse la efectividad del algoritmo para realizar los seguimientos en la variación de la *compliance* del paciente simulado.

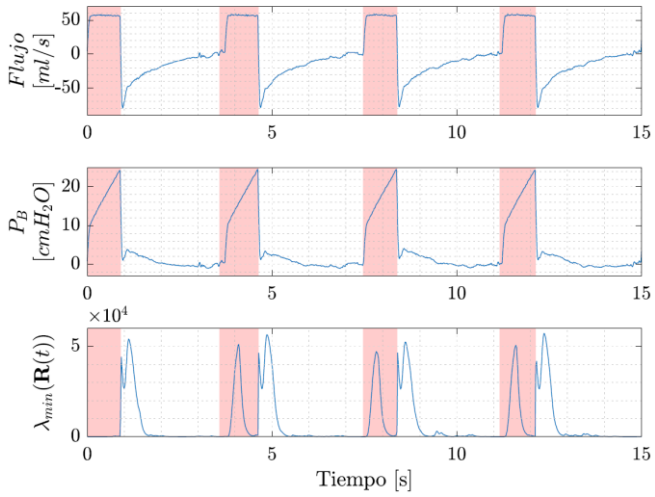


Fig. 4 Arriba, señal de flujo de aire. Medio, presión medida en la boca. Abajo, evolución del mínimo autovalor de la matriz de covarianza.

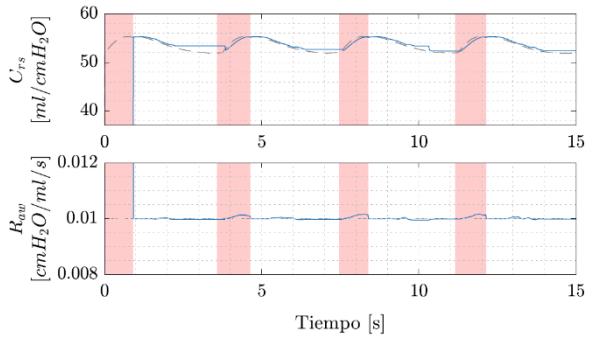


Fig. 5 Arriba, estimación de la capacidad en función del tiempo. Abajo, estimación de la resistencia en función del tiempo.

3.1.2 Resultados con estimador por semiciclo.

En esta subsección se muestran los resultados obtenidos para el modelo no lineal al utilizar el estimador por semiciclo (sección 2.2.1). En la Fig. 6 se puede observar la curva P-V completa del paciente simulado, y superpuesto a esta, las curvas P-V obtenidas en tanto en la inspiración como en la espiración. El gráfico de estas dos últimas curvas mencionadas recorren el sector donde el paciente está siendo ventilado, y se puede ver que hay una mejor estimación de la curva utilizando el ciclo inspiratorio.

3.2 Resultados con datos de un paciente bajo respiración asistida.

Luego de los auspiciosos resultados obtenidos con el paciente simulado, se realizaron evaluaciones preliminares utilizando ambos métodos de estimación con señales de presión y flujo medidas en un paciente real sedado ventilado mecánicamente (Fig. 7).

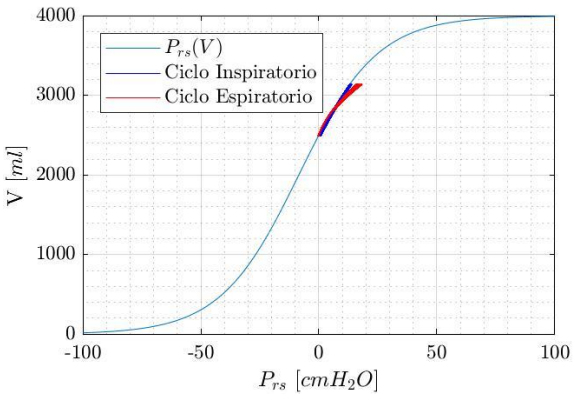


Fig. 6 Gráfico de la curva P-V del paciente simulado y de los obtenidos con el modelo RC no lineal.

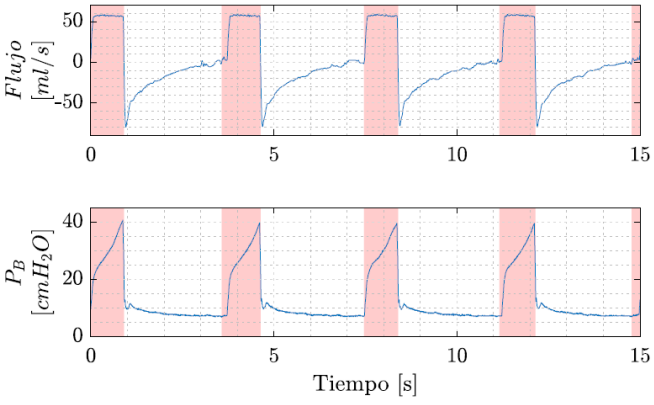


Fig. 7 Señales de flujo y presión de un paciente bajo respiración asistida utilizadas en las evaluaciones preliminares de los algoritmos.

Se destaca que en el comportamiento de la *compliance* en un paciente real, a diferencia del paciente simulado, se espera encontrar una histéresis. Esto se debe a la progresiva apertura de los alveolos colapsados que ocurre durante el comiendo del período de insuflación, representando la *resistencia* del pulmón a aceptar un cambio de volumen y a volver a su volumen inicial [8].

En la Fig. 8 puede observarse la estimación de la *compliance* y la resistencia del modelo lineal en tiempo real con datos de un paciente totalmente sedado. Como se puede apreciar, el algoritmo fue capaz de seguir los cambios instantáneos de *compliance*, y además, se puede visualizar una resistencia no lineal, la cual parece decrecer con el valor del flujo.

En la Fig. 9, se ha optado por mostrar el gráfico de las curvas obtenidas de los modelos no lineales, tanto de la inspiración (en azul), como de la espiración (en rojo). Se puede ver claramente los cambios en la concavidad de las curvas, indicando la existencia de una histéresis en la función pulmonar.

Como trabajo a futuro, se espera utilizar ambos métodos de estimación con una amplia gama de pacientes ventilados mecánicamente. Esto posibilitaría un estudio estadístico del comportamiento de los parámetros del modelo estimado en el tiempo.

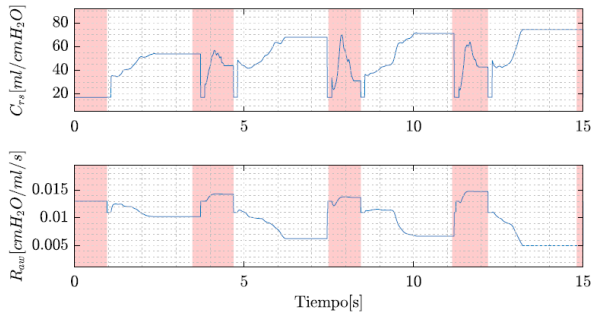


Fig. 8 Compliance y resistencia estimadas con datos de paciente totalmente sedado en tiempo real.

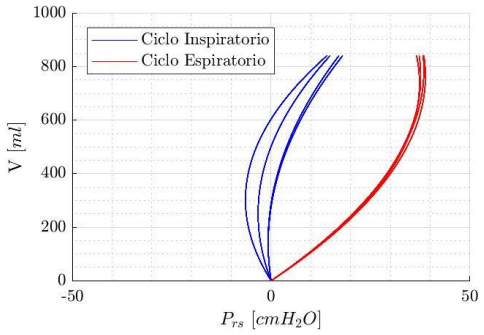


Fig. 9 Relación P-V obtenida en un paciente sedado ventilado mecánicamente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo de la Facultad de Ingenier´ıa - UNLP, CONICET, Agencia I+D+i e IP-COVID (Fundaci´on Bunge y Born - Agencia I+D+i).

4. BIBLIOGRAFÍA

[1] Ferragut, R., 2003. “Modalidades de ventilación: Ventilación mecánica controlada y asistida-controlada”. Ventilación mecánica en pediatría.

[2] Vales, S. and Gómez, L., 2012. “Fundamentos de la ventilación mecánica”. I.C.G. Marge, S.L.

[3] Baconnier, P., Carry, P., Eberhard, A., Perdix, J., Fargnoli, J., 1995. “A computer program for automatic measurement of respiratory mechanics in artificially ventilated patients”. Computed methods and programs in biomedicine.

[4] Madorno, M., 2017. “Análisis del funcionamiento del sistema respiratorio de sujetos que requieren asistencia ventilatoria mecánica o que experimentan un compromiso en su sistema respiratorio mediante un monitor respiratorio avanzado”. Tesis de doctorado.

[5] Bates, J., 2009. “Lung Mechanics: An Inverse Modeling Approach”. Cambridge University Press.

[6] Moré J.J. (1978), “The Levenberg-Marquardt algorithm: Implementation and theory”. In: Watson G.A. (eds) Numerical Analysis. Lecture Notes in Mathematics, vol 630. Springer, Berlin, Heidelberg.

[7]M. Fliess, “Generalized controller canonical form for linear and nonlinear dynamics”, IEEE Transactions on Automatic Control, 1990.

[8] J. Mead, J. Whittenberger, and E. Radford Jr, “Surface tension as a factor in pulmonary volume pressure hysteresis”, Journal of Applied Physiology, vol. 10, no. 2, pp. 191-196, 1957.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA EL EDIFICIO DE ELECTROTECNIA DE LA FI-UNLP

Carlos A. Wall* María B. Barbieri* Raúl Bianchi*

Patricia L. Arnera* Pool Barrientos**

*IITREE-LAT-FI-UNLP
48 y 116. La Plata. Buenos Aires. Argentina
caw@iitree-unlp.org.ar

**FI-UNLP
1 y 47. La Plata. Buenos Aires. Argentina

Palabras claves:
Descargas Atmosféricas, simulación, software, pararrayos.

Introducción:

Toda edificación está expuesta a descargas atmosféricas, las cuales pueden causar importantes daños en la estructura y en mayor gravedad a las personas, por ejemplo, las plantas industriales que procesan y almacenan sustancias inflamables, se caracterizan por el alto riesgo frente a la caída de un rayo, pues podría desencadenar una explosión y/o incendio. Por esta razón surge la necesidad de un sistema de protección contra rayos, formado por un conjunto de dispositivos, normas y medidas constructivas especiales que tienen por objeto preservar las personas, edificios y otras construcciones contra los daños que podrían ocasionar las descargas atmosféricas.

Se considera que un Sistema de Protección Contra Rayos (SPCR) estará completo, cuando esté conformado por: el “sistema de protección externo” (el cual tiene por objetivo la captación del rayo y su derivación a la puesta a tierra) y el “sistema de protección interno” (mediante el cual se logra la equipotencialización de todas las instalaciones).

Se entiende como sistema de protección externo a la totalidad de los dispositivos e instalaciones en el exterior, encima, adosados o no, a la instalación que se debe proteger, para captar y derivar la corriente del rayo a la instalación de puesta a tierra.

Este SPCR externo consiste básicamente de [1]:

- El ***Sistema de dispositivos captadores****: Parte de un SPCR externo formado por elementos metálicos tales como varillas, mallas o cables conductores destinados a interceptar el rayo*.
- El ***Sistema de conductores de bajada****: Parte de un SPCR externo destinado a conducir las corrientes de los rayos desde el sistema de dispositivos captadores al sistema de puesta a tierra*.
- El ***Sistema de puesta a tierra****: Parte de un SPCR externo destinado a conducir y dispersar las corrientes de los rayos en el suelo*.

Para distribuir este sistema de protección externo de forma eficiente, en una zona o planta determinada, es necesario hacer un estudio para identificar en que estructura es más probable que impacten las descargas, cuáles son las que merecen mayor atención e identificar los objetos que cumplan la función de pararrayos natural.

Se denomina Pararrayo (PR) a los elementos que fueron diseñados para cumplir la función de captadores de las descargas del sistema de protección externo. Se denomina PR natural a los objetos que no fueron diseñados con este fin, pero que, por sus características constructivas, de acuerdo a las normas vigentes, pueden ser considerados como tal. Sin embargo, es imprescindible corroborar el estado de estos, de manera de asegurar el correcto cumplimiento de sus funciones.

El objetivo del presente trabajo es presentar la aplicación del software BLINSUB desarrollado en el IITREE-LAT-FI-UNLP, y destinado a la evaluación del sistema de protección externo (sistema aéreo de captación) ante descargas atmosféricas el cual

fue aplicado en el edificio de Electrotecnia de la FI-UNLP. Es importante aclarar que el software puede ser utilizado para evaluar todo tipo de instalaciones.

En una primera parte, se hace una descripción del programa BLINSUB de simulación probabilística tipo Monte Carlo, el cual se basa en el modelo electro-geométrico de la descarga y considera una distribución estadística empírica de corrientes de los rayos. Las probabilidades estimadas en este estudio equivalen a aproximadamente 20000 años de simulación. Luego se describen las potenciales aplicaciones del programa, y se analiza un caso práctico de aplicación, en el que se analizan dos métodos empleados para el análisis (estadístico y determinístico o esfera rodante).

El programa BLINSUB permite la modelación de instalaciones y la representación de objetos complejos que la conforman, como así también el comportamiento aleatorio de la actividad atmosférica. Presenta un desempeño satisfactorio, y ha mostrado ser es una herramienta útil para la evaluación de distintas alternativas de protección contra las descargas atmosféricas.

Descripción del BLINSUB

El programa BLINSUB fue desarrollado con el fin de obtener la ubicación del sistema de protección externo (pararrayos) [2]. El mismo se basa en el modelo electro-geométrico del rayo [3]. Este método se basa en la física de la descarga del rayo, donde se considera una esfera cuyo centro se corresponde con la cabeza de la descarga directriz, la cual, al aproximarse a la tierra, efectúa su salto final al objeto más cercano. El radio de la esfera se asocia con dicho salto final y es la distancia de captación del rayo, también llamado “radio de salto” (R) que se obtiene por medio de la ecuación (1) [3].

$$R = K*I^{n} \qquad (1)$$

Donde K y n son constantes, R se expresa en [m] e I en [kA].

Se puede realizar un análisis estadístico, en el cual se adopta una distribución probabilística de valores de corriente de rayos y se toma una distribución plana de los lugares donde caen las descargas aleatoriamente, eligiendo la cantidad de descargas de acuerdo con la densidad de descargas anuales del lugar por unidad de superficie y la cantidad de años que se quiere representar.

También se puede realizar un análisis determinístico denominado “Esfera Rodante” que consiste en “hacer rodar” una esfera de radio fijo por toda la instalación a estudiar [4]. El radio de esta esfera está relacionado con una determinada corriente de acuerdo a (1). Si utilizamos el programa BLINSUB para este análisis se fijará un único valor de corriente de acuerdo al radio elegido que representa un nivel de protección [5] y se tiene que asegurar un número de descargas lo suficientemente grande para que se cubran todos los puntos posibles (x,y) de la superficie estudiada.

La versión anterior del programa fue desarrollada en la década del ’80, en el entorno de programación de DOS, lo cual dificulta su utilización en los medios informáticos actuales. Además, en dicha versión todos los elementos eran representados por medio de paralelepípedos, lo cual implicaba que para un gran número de elementos debía recurrirse a simplificaciones. Por estos motivos, se decidió realizar una nueva versión del programa, en el entorno de programación de Matlab, lo que permitió incorporar recursos gráficos adicionales y elementos que con la versión anterior no se podían representar, como esferas, cilindros, verticales y horizontales, cañerías elevadas, etc. Además, se implementó una interfaz más amigable para el operador [2]. El BLINSUB permite la modelación de instalaciones y la representación de objetos complejos que la conforman.

El programa permite modelar la instalación a estudiar, donde se aprecian todas las estructuras apoyadas sobre la zona. Los resultados se muestran en forma de gráficos y tablas para su análisis.

Tipos de Elementos que soporta el software

Los datos de entrada referidos al *layout* de la instalación, consisten en las instalaciones emplazadas sobre la superficie de la región a estudiar y los objetos aledaños que puedan influir en los cálculos. Las mismas se deben ingresar con sus respectivas coordenadas geográficas, abscisas y ordenadas, respecto de la referencia (0,0) adoptado para el estudio.

Los objetos sobre la superficie se pueden representar mediante las siguientes formas: Paralelepípedos ortogonales (con cuatro coordenadas sobre el terreno en los ejes X e Y, y su altura), Cilindro vertical (indicando el centro del mismo en los ejes X e Y, su altura y el radio), Esferas (indicando el radio, las coordenadas del centro en los ejes X e Y, y la altura del centro), Cilindro vertical con una cúpula en la parte superior semiesférica (indicando el radio, el centro del mismo en los ejes X e Y, y la altura del cilindro)[1], Cilindro horizontal con o sin terminación semiesférica en los extremos.

Es necesario indicar para cada elemento, si el mismo actúa como pararrayo, es decir objeto protegido, o si el mismo no actúa como tal. También se debe especificar el número y descripción de cada estructura

Datos del Tipo de Simulación a ingresar en el software

Cargados los datos de la planta o zona a estudiar, se deben declarar los parámetros y variables para la ejecución del programa. Si se realiza un análisis estadístico se debe indicar la densidad de descargas deseada (número de descargas por km^2 por año), y la cantidad de años a evaluar. Si se quiere realizar un análisis determinístico (Esfera Rodante) se debe indicar el radio de salto y el número de descargas a tener en cuenta (suficientemente grande).

Para el radio de salto, se puede elegir entre 20, 30, 45 y 60 metros (estudio determinístico), según un análisis de riesgo y el nivel de protección deseado [4][5]. Para el estudio estadístico, se puede elegir los coeficientes K y n de la (1), tanto para la tierra como para el objeto [6].

Tipo de Resultados que entrega el Software

Con todos los datos cargados y definidos los parámetros de cálculo, se realiza la simulación. Los resultados obtenidos, se pueden apreciar en un gráfico, en donde se superpone el *layout* de la planta y las descargas que impactarían en las estructuras que no fueron especificadas como Pararrayos naturales (color rojo) y las que impactarían a tierra (color verde). Además, es posible visualizar los resultados obtenidos por medio de tablas, en archivos cuyo formato es "*.xlsx", donde se detallan las coordenadas de cada descarga, sobre qué elemento impactarían, la magnitud de la corriente y el radio de salto asociado a cada una de ellas, tiempo de simulación equivalente, fallas de blindaje en 100 años y tiempo promedio entre fallas.

Caso de estudio

Como caso de estudio, se pretende diseñar la protección externa contra rayos para el Edificio de Electrotecnia de la FI-UNLP, indicado como "A" en la Fig. 1, que está ubicado en el campus de la FI, rodeado de árboles y otros edificios, como por ejemplo los correspondientes a los Departamentos de Mecánica (B), Hidráulica (C) y otros (D, E, F y G), los cuales se consideran sistemas naturales de protección, debido que influyen en la simulación que se realizará.

[1] La altura total de este objeto se obtiene con la suma de la altura del cilindro y el radio de la esfera (el radio de la esfera es igual a la del cilindro).

El edificio tiene una altura de 24 m (terraza más alta) y una superficie de 0,0042 km^2. En el techo se encuentran tanques de agua, aires acondicionados, un generador eólico y un panel solar, los cuales necesitan ser protegidos, con todo el edificio. Para optimizar el proceso de evaluación se dividió al edificio, en diferentes partes (39 en total), lo que permite identificar en que sector impactarán las descargas (Fig. 2).

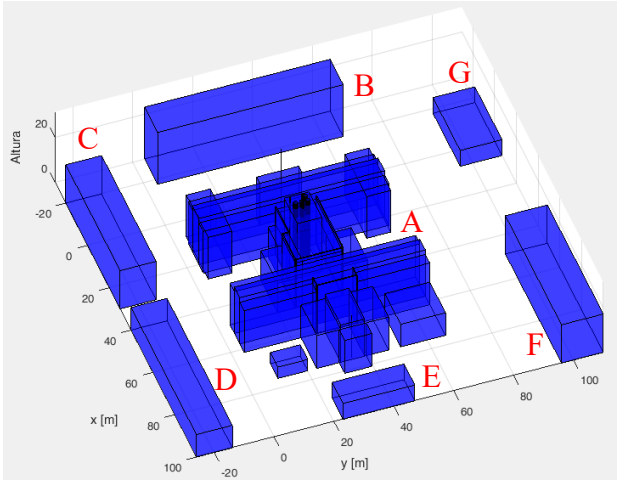


Fig. 1. Layout del modelo

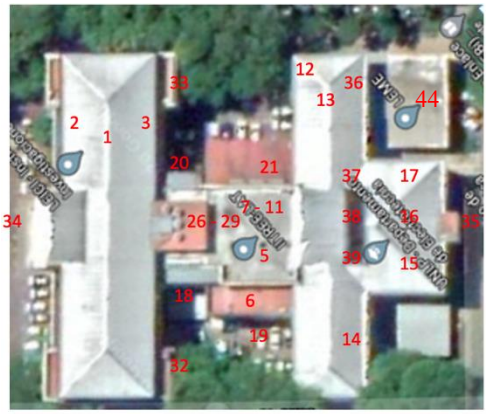


Fig. 2. Vista en planta del edifico, identificación de sus partes.

Como se mencionó, en la parte superior del edificio existen algunos elementos que deben considerarse, estos se presentan en la Fig. 3. En a) se aprecia la parte superior del frente del edificio, en donde existe un mástil, este será considerado como un PR natural (Parte 34, Fig. 2). En b) se presenta una imagen con la parte posterior del edificio, allí existe actualmente un PR (Parte 35, Fig. 2). En c) se observa la parte central del edificio, con los elementos de mayor altura (Parte 26, Fig. 2), se pueden identificar en la misma los tanques de agua, un aerogenerador y un PR, en esta imagen se destaca que la altura del aerogenerador, supera la del PR existente. En d) se presenta el panel solar (Parte 5, Fig. 2).



a) Mástil (34)

b) PR en parte posterior (35)

c) Aerogenerador y PR (Elemento 22)

d) Panel solar (Elemento 31)

Fig. 3. Elementos particulares sobre el edificio.

Condiciones de Simulación

Los elementos considerados como sistemas naturales de protección fueron: el mástil y los edificios vecinos. Se consideraron dos casos, según el siguiente detalle:

- **Caso 1**: Análisis estadístico (radio de salto aleatorio), tomando como valores K igual a 10, n igual a 0.65, densidad de descargas igual a 2 y 238 descargas para obtener 20.000 años de simulación.
- **Caso 2**: Análisis determinístico con un radio de salto de 45 metros, correspondiente al nivel de protección 3, según un análisis de riesgo analizado

[4][5], este caso representa una corriente fija de 10 kA considerando K=10 y n=0,65.

Resultados obtenidos

A continuación, se presentan los resultados gráficos obtenidos en las condiciones actuales del edificio.

Un punto en color rojo en las figuras mostradas a continuación, indica la coordenada en el plano por donde se asume que descenderá verticalmente el rayo, la cual varía aleatoriamente dentro de la zona de análisis con una distribución uniforme.

La cantidad de rayos por año a simular, en todos los casos, se obtiene considerando la densidad de descargas (rayos/km^2*año) de la zona en donde se encuentra la instalación y la superficie de ésta.

El Caso 1 corresponde a un método donde además las amplitudes de las corrientes de los rayos varían (aproximadamente entre 2 y 250 kA) de acuerdo con una distribución estadística asumida como gaussiana. Por lo tanto, así lo hará también el 'Radio de salto' (R) de acuerdo con (1). Este un método utilizado generalmente en el diseño de líneas de transmisión de energía eléctrica.

En la Fig. 4 se presentan los resultados para el Caso 1, indicándose en la misma, en color rojo, sólo las coordenadas de las descargas que impactarían en los elementos desprotegidos.

En este caso, los elementos que recibirían el impacto de rayos son el aerogenerador, el panel solar, las cubiertas del edificio, los muros y la salida de este (Elementos 1, 13, 22, 31, 35, 36, 37, 38 y 39). De las 238 descargas, 64 impactarían en el aerogenerador, 22 en el panel solar, 55 en las cubiertas y la salida y 19 en los muros. Las descargas restantes impactan en la tierra y en los elementos considerados como pararrayos naturales. El promedio de fallas de blindaje, en 100 años, es de 0,69; lo que da lugar a un tiempo promedio entre fallas de 145 años. Estos datos se obtienen a través de las tablas que brinda el programa en formato ".xlsx" y filtrando lo que sea conveniente para el usuario.

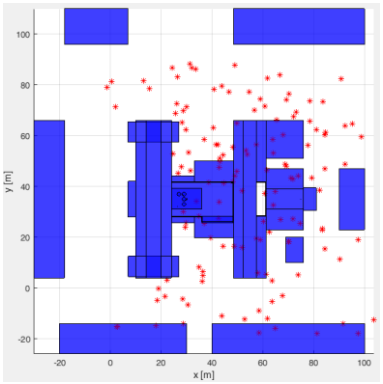


Fig. 4. Resultados obtenidos para el caso 1

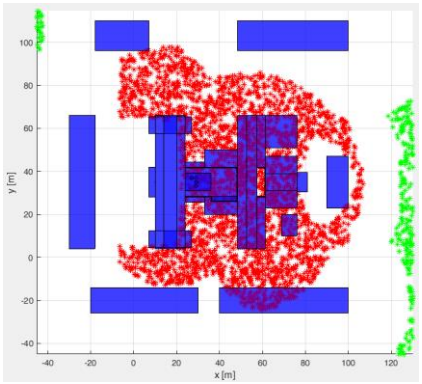


Fig. 5. Resultados obtenidos para el caso 2.

El Caso 2 corresponde al método normalizado [1][4][7], generalmente utilizado para el análisis de protección de instalaciones civiles, que consiste en hacer rodar una esfera de un radio fijo (igual al radio de salto y por lo tanto correspondiente a una amplitud fija de la corriente del rayo), por sobre el plano donde se encuentran los edificios objeto del estudio.

En este método, por lo tanto, todas las amplitudes de las corrientes de los rayos son iguales, y es determinada por las normas en función del 'grado de seguridad' deseado para la instalación.

Se indican en la figura las coordenadas del centro de la esfera que hace contacto con elementos desprotegidos. Esto permite localizar sobre el modelo todos los puntos posibles de descarga de rayo y las zonas de posibles descargas laterales.

En la Fig. 5 se muestran los resultados obtenidos para el Caso 2, en color rojo se indican las descargas que impactarían en los distintos elementos desprotegidos y en color verde las que impactarían en tierra.

En este caso se observa, que los elementos a proteger además de los detallados en el Caso 1, son el 14, 15, 17, 32, 33 y 44 (Fig. 2).

La diferencia en la cantidad de 'puntos rojos' entre ambas figuras se debe a que en el Caso 1, dado que las amplitudes varían aleatoriamente, sólo algunos de los rayos tienen la amplitud equivalente al radio de la esfera utilizada para el Caso 2.

En ambos casos, sin embargo, se aprecia que será necesario la instalación de PRs, para proteger la totalidad del edificio ya que varios elementos están expuestos a recibir descargas.

Se puede ver de forma clara, en qué lugares se deberán colocar los sistemas de protección para asegurar que los elementos desprotegidos queden resguardados y no sean impactados.

Medidas de Mitigación consideradas

Considerando los resultados obtenidos para los Casos 1 y 2, se concluye que es necesario adoptar medidas de mitigación para proteger aquellos elementos desprotegidos. En el caso del método determinístico aparecen elementos adicionales a proteger.

En la Fig. 6 se presenta una propuesta de distribución de PRs, elaborada considerando las recomendaciones indicadas en las normas IRAM 2184–11[1], IEC 62305–3[5], la NFPA 780[7] y los resultados del Caso 2 (también seria válida para el Caso 1). Como solución se propone instalar un PR (en amarillo) de 7,5 m de altura (el aerogenerador tiene una altura de 6,26 m), 24 pararrayos 0,4 m (en rojo), se reubica el pararrayo existente en la zona del aerogenerador, en la zona en donde se encuentra el panel solar (color naranja) y se deja el PR existente en la parte posterior del edificio (color verde).

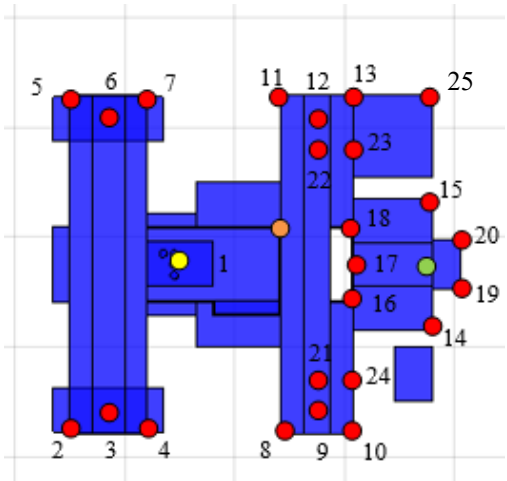
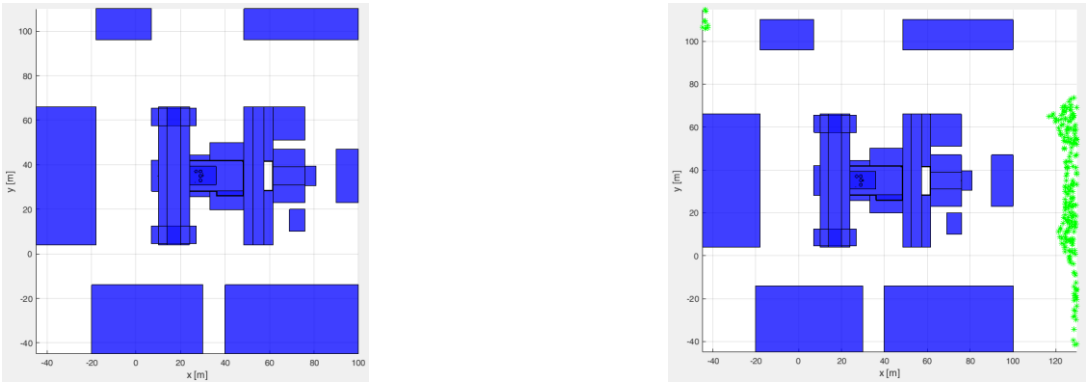


Fig. 6. Vista en planta del edificio con la ubicación de los PR.

Con la incorporación de los elementos de protección, descriptos, se repitieron los cálculos, para los dos Casos. En la Fig. 7, se presentan los resultados obtenidos, a) para el Caso 1 y b) para el Caso 2. Al agregar al modelo, los elementos que representan el sistema de protección y simulando las descargas en el edificio con las modificaciones realizadas, se llegó a la conclusión que para la protección total fue necesario instalar todos los pararrayos descriptos.

También se hubiera podido instalar menos cantidad de pararrayos, pero de mayor altura, esto requiere estructuras de soporte que consideren la acción del viento y elementos más altos provocarían un impacto visual mayor.

Con estas consideraciones, se observa que todas las estructuras a proteger no son impactadas por descargas.



a) Caso 1 b) Caso 2

Fig. 7 Resultados obtenidos con las medidas de mitigación y condiciones de los casos 1 y 2.

A partir de los resultados obtenidos en el ejemplo de aplicación, se observa que no es necesario instalar sistemas de protección en todos los objetos a proteger.

Se muestra en una primera simulación aquellos elementos en los que impactan un mayor número de descargas, teniendo de esta manera una indicación aproximada de dónde habría que instalar puntas captoras. Luego en simulaciones posteriores se verifica y ajusta la posición de estas puntas captoras para cubrir eficientemente toda la instalación.

El edificio considerado en este trabajo posee una afluencia masiva de personas y además alberga grupos de trabajo que poseen equipamiento, en muchos casos sensible a los efectos de las descargas atmosféricas.

Es importante contar con la protección adecuada contra este tipo de fenómenos y contar con herramientas como el BLINSUB permiten evaluar alternativas que presenten un desempeño técnico económico aceptable.

En este edificio, se observa que la superficie que presenta es amplia, además sobre la parte superior existen elementos de diferentes alturas, lo que requiere de la disposición de varios elementos para lograr una adecuada protección.

La solución adoptada resulta eficiente ya que Fig. 7 no se observan impactos en elementos desprotegidos. Se logró el objetivo planteado, logrando proteger al edificio con 27 elementos, dos de ellos existentes, uno de los cuales no cumple su función, ya que en su entorno existen elementos de mayor altura. Se mantuvo uno de los existentes y se relocalizó el que estaba desaprovechado. Con la incorporación de elementos de 40 cm de alto y uno de 7,5 m se cumple el objetivo de proteger el edificio. Es importante aclarar que el sistema de protección externo se debe complementar con el sistema de bajada a tierra y el sistema de puesta a tierra.

Conclusiones

El programa desarrollado, BLINSUB, permite realizar simulaciones considerando las condiciones indicadas en las normas de referencia, con resultados satisfactorios. El mismo fue desarrollado con herramientas informáticas disponibles actualmente. Permite extraer resultados, en forma gráfica y a través de tablas, lo que da lugar a un análisis específico de las instalaciones. Posee una interfaz gráfica más flexible y amigable para el operador, permitiendo realizar diferentes modificaciones, directamente sobre un modelo ya cargado previamente.

La simulación de las descargas a través del programa depende del nivel de seguridad que el usuario requiera. Para verificar que los resultados son viables, se podrá hacer la cantidad de pruebas que resulten necesarias, variando los parámetros de simulación como por ejemplo el radio de salto (aleatorio o específico), densidad de descargas, tiempo de simulación, etc.

Se ha desarrollado una herramienta que permite analizar diferentes tipos de instalaciones, gracias a los distintos tipos de elementos que se pueden representar. En los casos en que resulte necesario adoptar alguna medida de mitigación, será posible comparar diferentes tipos de soluciones para diseñar sistemas de protección de forma eficiente y considerando la opción que signifique la mejor solución desde el punto de vista técnico y económico.

Bibliografía

[1] IRAM 2184 – 11: 2016. *"Protección contra los rayos – Parte 11: Guía para la elección de los sistemas de protección contra los rayos (SPCR) para usar en la República Argentina"*. Segunda Edición 2016 – 09 - 01.

[2] "*DESARROLLO Y UTILIZACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN INSTALACIONES*". C. WALL*, B. BARBIERI*, R. BIANCHI*, P. ARNERA*, P. BARRIENTOS**, G. ADGI**. XVIII ERIAC, DÉCIMO OITAVO ENCONTRO REGIONAL IBERO-AMERICANO DO CIGRE. Foz do Iguaçu, Brasil, 19 a 23 de maio de 2019.

[3] IEEE Working Group Report Estimating Lightning Performance of Transmission Lines II - Updates to Analytical Models. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, July 1993

[4] IEC 62305-1:2010. *"Protection against lightning - Part 1: General principles"*.

[5] IEC 62305-3:2010. *"Protection against lightning - Part 3: Physical damage to structures and life hazard"*.

[6] Cigré TB 63. *GUIDE TO PROCEDURES FOR ESTIMATING THE LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES*. Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Coordination). October 1991.

[7] NFPA 780. "*Standard for the installation of Lightning Protection Systems*". 2020 Edition.

Primeros Ensayos Ambulatorios de un Páncreas Artificial en Argentina.

Fabricio Garelli[1], Nicolás Rosales[1], Emilia Fushimi[1], Delfina Arambarri[1], Leandro Mendoza[1], Cecilia Serafini[1], Hernán De Battista[1], Ricardo Sánchez Peña[2], Luis Grosembacher[3]
[1]Grupo de Control Aplicado (GCA), Instituto LEICI (UNLP-CONICET), Facultad de Ingeniería, UNLP
[2]Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA)
[3]Hospital Italiano de Buenos Aires (HIBA)

Introducción

La prevalencia de la diabetes mellitus (DM) se encuentra en crecimiento en todo el mundo por lo que constituye una verdadera emergencia sanitaria. En la actualidad se estima que 415 millones de personas padecen DM y en el año 2040 se alcanzaría a 642 millones. En nuestro país la prevalencia de DM, según la tercera encuesta Nacional de Factores de Riesgo es del 9,8 %. En el contexto de la pandemia de COVID-19, la DM constituye uno de los principales factores de riesgo que pueden llevar a tener complicaciones graves.

En este sentido, el buen control glucémico es clave para las personas con diabetes. La regulación de la administración de insulina vía bomba de insulina según los niveles de glucosa medidos por un sensor subcutáneo es el principal enfoque tecnológico para mejorar y automatizar el control glucémico para personas con DM tipo 1 (DMT1), y ha sido la base para el desarrollo del páncreas artificial (PA).

En los últimos años se publicaron numerosos ensayos clínicos y meta-análisis con PA. En todos ellos se utilizaron PA híbrido, es decir una combinación de regulación automática de la infusión de insulina basal, con la participación del paciente, quien informa o anuncia el contenido de carbohidratos (CHO) a ingerir [1, 2]. El PA no híbrido, con un algoritmo que no requiera anuncio de comida o conteo de CHO por parte del paciente, y que ajuste la glucemia postprandial automáticamente (fully automatic) está aún en investigación. Estos algoritmos no han sido aún validados en pacientes con DMT1 ambulatorios y durante períodos prolongados.

En el 2017, el grupo de trabajo realizó en Argentina el primer ensayo clínico piloto utilizando un PA con un algoritmo no híbrido sin requerimiento de conteo de CHO, en pacientes con DMT1 del Hospital Italiano de Buenos Aires (HIBA). Se evaluó eficacia y seguridad de un nuevo algoritmo de origen argentino, denominado ARG (automatic regulation of glucose), en pacientes internados y muy controlados durante un período de 36 horas [3]. En este trabajo se presenta un estudio realizado con dicho algoritmo ARG en marzo de 2021, en 5 pacientes con DMT1 no hospitalizados o ambulatorios y durante un mayor período de tiempo (6 días en total).

Desarrollo

En esta sección se hace una breve descripción del protocolo, la plataforma InsuMate y el algoritmo de control ARG utilizados en los ensayos clínicos.

Protocolo del Ensayo

El ensayo realizado fue un estudio piloto, clínico e intervencionista. El mismo generó datos cuantitativos al comparar dos tipos de tratamientos en pacientes con DMT1:

(a) Previo o convencional, con bomba de infusión subcutánea (BIIS) más sensor continuo de glucosa (CGM) no integrados (lazo abierto), durante 3 días.

(b) Nuevo o PA, con BIIS más CGM integrados (lazo cerrado), a través del algoritmo ARG durante 3 días .

Tabla 1: Parámetros de los participantes del ensayo clínico.

	Paciente	Sexo	Peso [Kg]	TDI* [U]	A1c [%]
	3001MO	F	65.2	26.2	8
	3002VF	F	63.5	40.4	8.9
	3003VP	F	68	32.4	5.9
	3004GN	M	85	59	6.8
	3005SZ	M	78.4	62.2	7.3
Media			72.02	44.04	7.38
STD			9.28	15.97	1.14

* Insulina total diaria

Durante el lazo abierto (LA), cada participante actuó como su propio control, empleando el mecanismo habitual de corrección de glucosa con BIIS durante los primeros tres días. Los siguientes 3 días fueron a lazo cerrado (LC) con el nuevo sistema de PA. Durante todo el período del estudio los participantes fueron controlados por un equipo integrado por médicos, enfermeras (de la Sección Diabetes del Servicio de Endocrinología del HIBA) e ingenieros desarrolladores del algoritmo ARG. Los pacientes estuvieron alojados en un hotel cercano al mismo HIBA.

Se seleccionaron aleatoriamente a los cinco primeros sujetos que cumplían con los criterios de inclusión y exclusión. El tamaño de la muestra se basó en la disponibilidad para el estudio de 5 BIIS y además concuerda con otros estudios piloto previos, que evaluaron nuevos algoritmos de control automático en pacientes hospitalizados. La tabla 1 muestra un resumen de los parámetros de los 5 participantes del ensayo.

Para este ensayo, se definieron los siguientes objetivos:

- Objetivo General: Evaluar la eficacia y seguridad del tratamiento con PA sin conteo de CHO en pacientes con DMT1 en forma ambulatoria.
- Objetivos Específicos Primarios:
  - Determinar, como parámetro de eficacia, el porcentaje de tiempo con glucemia entre 70 y 180 mg/dl (rango deseado o TIR).
  - Determinar, como parámetro de seguridad, el porcentaje de tiempo con glucemia igual o menor a 70 mg/dl (hipoglucemia).
- Objetivos Específicos Secundarios:
  - Determinar el porcentaje de tiempo con glucemia entre 181 y 250 mg/dl (rango aceptable).
  - Determinar el porcentaje de tiempo en hiperglucemia (>180 mg/dL).
  - Estimación de la tasa de falla técnica de los componentes del sistema.
  - Determinar la tasa de episodios de hipoglucemia sintomática y asintomática.
  - Comparación de los registros de glucemia obtenidos durante el tiempo a LA, con los registros obtenidos durante el tiempo a LC.
  - Evaluación de la composición de las comidas y su efecto en la eficacia de corrección de la glucemia.
  - Porcentaje del tiempo en el que el PA permanece funcionando adecuadamente.

Plataforma InsuMate

El sistema InsuMate es una marca registrada de la UNLP [4]. En su versión completa está compuesto por un celular donde reside el algoritmo de control, un CGM y una bomba de insulina, como se muestra en la Fig. 1. A esto se debe adicionar las aplicaciones necesarias para la conexión de los dispositivos: Ruffy en el caso de la bomba AccuChek Spirit Combo y xDrip+ para la transmisión de las medidas de glucosa.

La transmisión de datos hacia la nube se efectúa mediante el utilitario NightScout, software de código abierto desarrollado bajo la consigna DIY (”Do It Yourself”), pero utilizando un servidor propio en el dominio registrado *www.insumate.com.ar*. La aplicación móvil está basada en el sistema AndroidAPS. La misma fue adaptada y programada para fines de investigación en estrategias de control de PA. Permite ejecutar un algoritmo de control con tiempo de muestreo y actuación de 5 minutos, y cuenta con una interfaz gráfica acorde para la visualización de variables y datos de interés durante ensayos clínicos. En particular, en la pantalla principal se grafica la evolución temporal no solo de la glucemia, sino también de la infusión continua de insulina y de la insulina a bordo (IOB). A su vez, brinda la posibilidad de ver en detalle las gráficas y desplazarse temporalmente, y presenta otros datos relevantes para las pruebas clínicas: el valor actual de glucemia, su tendencia y su tasa de cambio, el valor actual de IOB, el modo del control glucémico, el nombre (perfil) del paciente asociado a sus parámetros clínicos, el

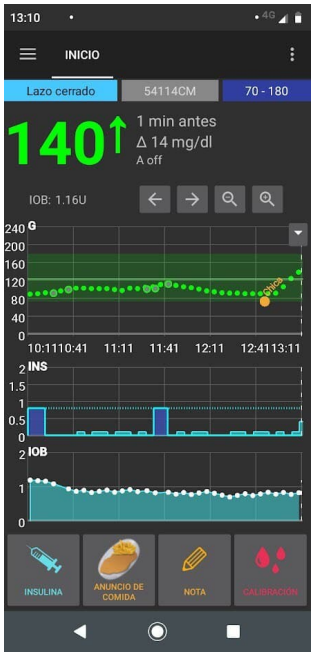


Figura 2: Vista de la pantalla principal de InsuMate desde el celular.



Figura 1: Componentes principales del sistema InsuMate.

rango deseado de glucemia y botones configurables para la carga de ingestas, notas y calibraciones del sensor. La figura 2 muestra un ejemplo de la vista de InsuMate desde el celular.

InsuMate tiene funcionalidades básicas comunes a todos los modos de operación. Entre ellas, las ya mencionadas de monitoreo continuo de la glucemia e insulina a bordo, la posibilidad de hacer anotaciones, registrar ingestas y efectuar calibraciones del sensor. A su vez, cuenta con tres modos de operación dependiendo del paciente y la tecnología asociada: MDI, Lazo Abierto y Lazo Cerrado.

Adicionalmente, la plataforma cuenta con un sistema de monitoreo remoto alojado en un servidor web (*www.insumate.com.ar/remoto*) que permite operar hasta 40 individuos conectados en simultáneo, accesible mediante usuario y contraseña. En la Figura 3 se visualiza un ejemplo de la pantalla principal del monitoreo remoto para los 5 participantes del ensayo en simultáneo. El monitoreo remoto múltiple de InsuMate se encuentra programado en Javascript/HTML y utiliza los datos subidos vía NightScout a un servidor propio. Se puede utilizar en cualquier navegador, ya sea de una computadora, celular o tablet. Brinda una interfaz simple para visualizar en una única pantalla a todos los pacientes/usuarios, o la opción de vista detallada de uno en particular. De cada sujeto se muestra la glucosa actual y su tendencia, las medidas de las últimas 4 horas (vista general) y 48 horas (vista detallada) y la indicación del tiempo de la última medida recibida para verificar la conexión. También cuenta con gráficos de insulina e IOB, indicación de ingestas, calibraciones y modos del controlador.

Algoritmo ARG

El algoritmo ARG consiste en un controlador LQG conmutado, el cual conmuta entre un controlador agresivo encargado de compensar el efecto de las comidas, y un controlador conservador, que mantiene los valores de glucemia dentro del rango deseado cuando no hay ingestas [5]. A este controlador principal, se le añade la capa SAFE que introduce una restricción en la IOB utilizando control por modo deslizante.

Este algoritmo funciona sin conteo de CHO. Sin embargo, al momento de la ingesta de una comida, debe hacerse un anuncio manual indicando el tamaño cualitativo de la comida (chica, mediana o grande). Esto pone al controlador en un modo de escucha en el cual espera a confirmar la presencia de la comida para actuar en modo agresivo.

Al algoritmo ARG se le agregan capas de protección contra hipo e hiperglucemia. La capa de hipoglucemia reduce el límite en la IOB impuesto por el SAFE a fin de disminuir o cortar el suministro de insulina cuando se predice un posible episodio de hipoglucemia. Por otro lado, la capa de hiperglucemia

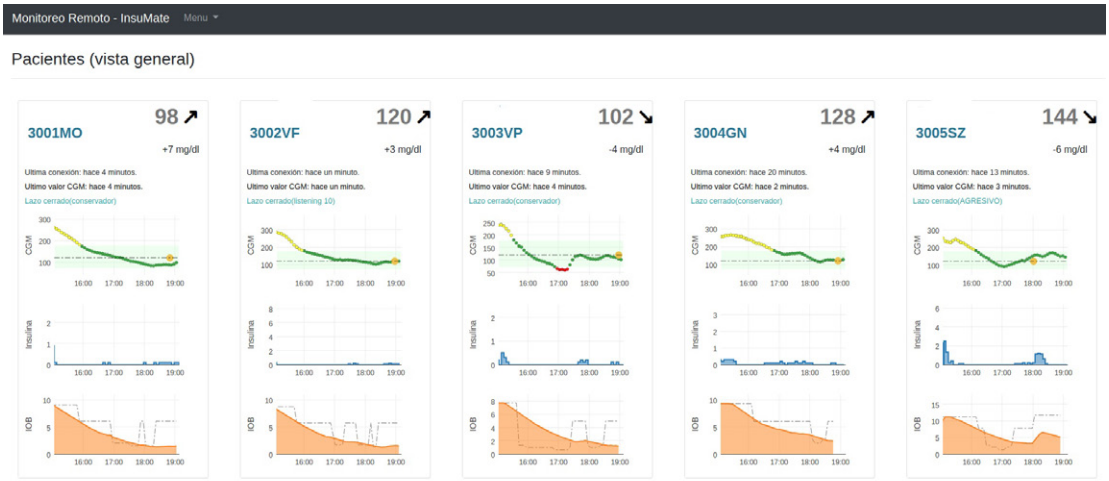


Figura 3: Vista del monitoreo remoto de los 5 participantes en simultáneo durante el ensayo clínico.

se encarga de generar bolos automáticos de corrección (BAC) en los momentos que el controlador no es capaz de corregir altos niveles glucémicos.

Discusión

A continuación se detallarán y discutirán los resultados obtenidos del ensayo ambulatorio. La tabla 2 muestra las métricas resultantes en promedio de la glucemia (BG) en el período de LC vs el LA para las 72 hs totales del ensayo en cada modo, para un período de 24 horas (anteúltima noche y último día del ensayo para el LC) y en el período nocturno.

Si se analizan las 72 horas, es decir, los 3 días en LA respecto a los 3 días en LC, se puede observar que el tiempo en hiperglucemia (BG >180 mg/dl) disminuye durante el LC, mientras que se incrementa el TIR (BG $\in [70 - 180]$ mg/dl). La glucemia media también disminuye levemente en el LC. Sin embargo, se produce una disminución del tiempo en el rango aceptable (BG $\in [70 - 250]$ mg/dl), lo que indica un aumento en el tiempo en hiperglucemia severa. Por último, el tiempo en hipoglucemia (BG <70 mg/dl) y en hipoglucemia severa (BG <54 mg/dl) se mantiene constante entre ambos métodos.

Por otro lado, si se observa el período de 24 hs hacia el final del ensayo, se puede notar que las relaciones entre las métricas de LA y LC se mantienen. En particular, el LC logra una reducción aún mayor en la glucemia media. No obstante, se sufre un aumento leve en el tiempo en hipoglucemia con respecto al LA.

Por último, si se estudian los resultados obtenidos para el período nocturno, se observa una mejora más importante en el TIR, tiempo en hiperglucemia y glucemia media con el LC respecto al LA. Adicionalmente, el tiempo en el rango aceptable se mantiene entre métodos, lo cual indica que no hubo un aumento en la hiperglucemia severa en el período de LC. Sin embargo, se produjo un incremento el tiempo en hipoglucemia con el tratamiento a LC.

Tabla 2: Resultados obtenidos en lazo abierto vs lazo cerrado en promedio para los 5 participantes del ensayo ambulatorio en el período de 72hs, en un período de 24hs y en el período nocturno.

	72 hs		**24 hs**		**Noches**	
	LA	LC	LA	LC	LA	LC
Glucemia	188,9	186,2	173,9	166,6	188,8	172,4
% [70, 250] mg/dl	84,1	80,9	89,8	87,2	85,2	85,5
% [70, 180] mg/dl	46,9	50,9	60,6	65,1	42,0	53,8
% >180 mg/dl	52,2	48,0	38,5	33,6	57,5	43,9
% <70 mg/dl	0,9	0,9	0,9	1,4	0,5	2,4
% <54 mg/dl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1

La tabla 3 muestra los resultados promedio obtenidos en las 72 horas en LA vs. las 72 horas en LC, diferenciando entre los participantes que presentaban una HbA1c baja (HbA1c <8 %) y una HbA1c alta

(HbA1c >8 %), y un alto consumo de CHO diario (CHO = 240 g) y un bajo consumo de CHO (CHO = 180 g).

Si se estudia la comparación de LA vs LC en los participantes con HbA1c baja, se puede observar que el control a LC tuvo un buen impacto en la reducción de la hiperglucemia y la glucemia media, aumentando así el TIR. Sin embargo, en los participantes con HbA1c alta, no se produjeron mejoras significativas, y se redujo en gran proporción el tiempo en el rango aceptable. Esto puede deberse a que el control a LC depende de los parámetros de la terapia a lazo abierto para su correcta sintonización.

Por otro lado, si se comparan los resultados LA vs LC en dependencia al cantidad de CHO consumidos, se puede notar que en el caso de una alta ingesta de CHO diarios, el LC logra disminuir tanto en tiempo en hiperglucemia como el tiempo en hipoglucemia, la glucemia media y aumentar el TIR. Para el caso de un bajo consumo de CHO, el LC disminuye el tiempo en hiperglucemia y aumenta el TIR, pero disminuye en mayor proporción el tiempo en el rango deseado y se produce un leve aumento en la hipoglucemia.

Tabla 3: Resultados obtenidos en las 72 horas en lazo abierto vs. las 72 horas en lazo cerrado diferenciando entre los participantes que presentaban una HbA1c baja (HbA1c <8 %) y una HbA1c alta (HbA1c >8 %), y un alto consumo de CHO diario (CHO $= 240$ g) y un bajo consumo de CHO (CHO $= 180$ g).

	HbA1c <8 %		**HbA1c >8 %**		**Alto consumo de CHO**		**Bajo consumo de CHO**	
	LA	LC	LA	LC	LA	LC	LA	LC
Glucemia	185,5	180,9	194,2	194,0	203,6	199,5	179,2	177,3
% [70, 250] mg/dl	84,1	82,9	84,1	77,8	79,0	77,0	87,5	83,5
% [70, 180] mg/dl	49,0	54,9	43,8	44,9	39,6	45,5	51,8	54,5
% >180 mg/dl	49,7	43,7	55,9	54,3	59,6	54,2	47,2	43,8
% <70 mg/dl	1,3	1,3	0,3	0,3	0,8	0,3	0,9	1,3
% <54 mg/dl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0

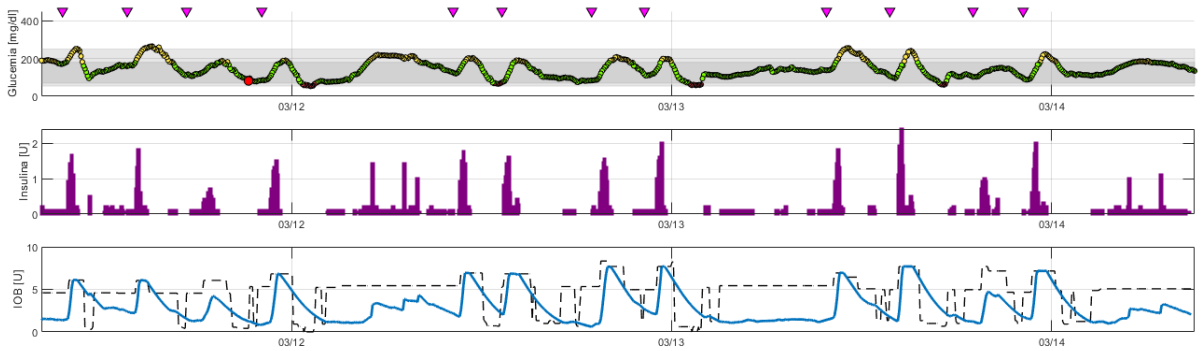


Figura 4: Control a lazo cerrado durante 72 horas para el participante 3003VP. En la primera subfigura se muestra la evolución temporal de la glucemia. En la segunda subfigura, se muestra la dosificación de insulina por parte del algoritmo de LC. En la última subfigura, se muestra la IOB junto con la restricción impuesta en la misma por el controlador.

La Figura 4 muestra el control a lazo cerrado durante 72 horas para el participante 3003VP. En la primera subfigura se muestra la evolución temporal de la glucemia. Con triángulos violetas se indican los momentos en los que se realizó un anuncio de comida. Puede observarse que el control glucémico fue satisfactorio, manteniendo al usuario en el rango deseado (trazo verde) la mayor parte del tiempo. Por otro lado, los escasos episodios de hipoglucemia fueron breves. En la segunda subfigura, se muestra la dosificación de insulina por parte del algoritmo de LC. Aquí puede visualizar el comportamiento del algoritmo de lazo cerrado para regular la glucemia. Por un lado, se observan grandes dosis de insulina en los momentos de las comidas, generados por el controlador agresivo. Luego, en los períodos sin comidas, el LQG conservador realiza ajustes en la insulina basal para mantener la glucemia en rango. También se puede ver la acción de los BACs en el período nocturno cuando éstos fueron necesarios. En la última subfigura, se muestra la IOB junto con la restricción impuesta en la misma por el controlador. Aquí puede verse la acción de la capa de seguridad SAFE actuando sobre la acción del controlador para evitar el sobrepaso del límite en la IOB, en particular en el momento de las comidas. Por último, también

se observa la actuación de la capa de hipoglucemias que reduce la restricción en la IOB ante un episodio de hipoglucemia inminente, previniendo o disminuyendo lo máximo posible la hipoglucemia postprandial.

Por último, la tabla 4 muestra el porcentaje del tiempo que estuvo cada participante a lazo cerrado desde el cierre del lazo hasta el final del ensayo. Puede verse que para todos los casos, el tiempo de conexión y correcto funcionamiento de la plataforma superó el 90 %, obteniendo un promedio de 95.4 %. Esta métrica es de suma importancia ya que este ensayo logró demostrar la viabilidad de la utilización de la plataforma InsuMate para ensayos de páncreas artificial, además de la mejora del control glucémico utilizando un algoritmo de lazo cerrado.

Tabla 4: Porcentaje del tiempo que estuvo cada participante a lazo cerrado desde el cierre del lazo hasta el final del ensayo.

	3001MO	3002VF	3003VP	3004GN	3005SZ	**Promedio**
% de tiempo en LC	99.64	91.01	96.26	96.41	93.68	95.40

Conclusiones

En marzo de 2021 se llevaron a cabo los primeros ensayos ambulatorios de páncreas artificial en Argentina. En esta oportunidad, se pusieron a prueba el algoritmo ARG como controlador de lazo cerrado para regular la glucemia automáticamente, y la plataforma InsuMate, que estuvo a cargo de la conexión entre dispositivos, de alojar el algoritmo, y de servir como monitoreo remoto de los participantes.

De acuerdo a esta experiencia, la plataforma Insumate demostró ser capaz de ser utilizada en ensayos clínicos de páncreas artificial. Su interfaz resultó intuitiva y sencilla para el uso por parte de los participantes del ensayo. Si bien se sufrieron desconexiones de los dispositivos y otros inconvenientes en algunas oportunidades, el tiempo promedio de correcto funcionamiento del lazo cerrado fue del 95.4 %.

Por otro lado, el algoritmo ARG logró mejorar el control glucémico en los participantes del ensayo en el contexto ambulatorio. Se analizaron diferentes períodos temporales y distintos criterios de clasificación de los pacientes. En todos los casos, el algoritmo ARG fue consistente en la disminución de las hiperglucemias y de la glucemia media, y un aumento en el TIR, en comparación con el lazo abierto.

Si bien el TIR en las 72 horas de lazo cerrado es menor a lo reportado en otros ensayos clínicos, no debe perderse de vista que éste mejoró significativamente en las últimas 24 horas. Adicionalmente, debe remarcarse que el algoritmo ARG no posee bolos prandiales manuales, es decir que los participantes no debían hacer un conteo de los carbohidratos a ingerir, y que tenían la libertad de anunciar una comida y luego no comerla, sin que exista riesgo de una hipoglucemia por sobredosis de insulina. Además, cabe destacar que en más de una oportunidad se les permitió a los participantes comer una cantidad mayor de los CHO estipulados para las comidas. Estos últimos dos puntos son de suma importancia ya que el objetivo del páncreas artificial es lograr una mayor autonomía del paciente.

Por último, resulta interesante señalar que los pacientes poseen un importante entrenamiento y control en el manejo de su diabetes de forma cotidiana. El cambio de rutina, tratamiento y uso de la plataforma durante el ensayo, además de elementos externos al mismo, como los cuidados y protocolos debido a la pandemia de COVID-19 en la que se trabajó, son factores que sesgan los resultados obtenidos.

Se proyecta a futuro ensayos de la plataforma InsuMate y del algoritmo ARG que involucren una mayor cantidad de pacientes en simultáneo, con uso en sus hogares, y eliminando por completo el anuncio de comidas.

Referencias

[1] A. Weisman, J. Bai *et al.*, “Effect of artificial pancreas systems on glycaemic control in patients with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis of outpatient randomised controlled trials.” *Lancet Diabetes Endocrinol.*, vol. 5, no. 7, pp. 501–512, 2017. 1

[2] R. Bergenstal, S. Garg *et al.*, “Safety of a hybrid closed-loop insulin delivery system in patients with type 1 diabetes.” *JAMA*, vol. 13, no. 316, p. 1407–1408, 2016. 1

[3] R. Sánchez-Peña, P. Colmegna *et al.*, “Artificial pancreas: Clinical study in Latin America without premeal insulin boluses,” *J Diabetes Sci Technol*, vol. 12, no. 5, pp. 914–925, 2018. 1

[4] UNLP, “Insumate. tipo d-denominativa. instituto nacional de la propiedad intelectual. solicitante: Fabricio garelli.” Patent Nro. Referernncia: 827 774, 2019. 2

[5] P. Colmegna, F. Garelli *et al.*, “Automatic regulatory control in type 1 diabetes without carbohydrate counting,” *Control Eng Pract*, pp. 22–32, 2018. 3

DISEÑO PRELIMINAR DE LA OBC Y EL ADCS PARA EL SATELITE UNIVERSITARIO USAT1

Hanisch, Elián; Vega Leañez, Gabriel; Rodríguez, Santiago; López, Ernesto M. y García, Javier G.

UIDET SENyT, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de la Plata, Calle 116 s/n, B1900, La Plata, Argentina.
Contacto: elian.hanisch@ing.unlp.edu.ar

1. Introducción

La UNLP actualmente se encuentra en proceso de desarrollo de un satélite universitario con formato CubeSat [1], este proyecto es impulsado desde el Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) y será el primero de 5 satélites que se proyectan fabricar en la universidad. Este satélite, llamado internamente USAT1, será un CubeSat de 3 unidades (donde una unidad representa un volumen de 10x10x10 cm) y tiene como misión principal la demostración y validación tecnológica del uso de mediciones de reflectometría y radio-ocultación GNSS para el análisis de la atmósfera y la superficie de la Tierra. También servirá para validar los subsistemas desarrollados que forman el satélite, entre ellos la computadora de abordo (OBC), el subsistema de comunicaciones (COM), el subsistema de determinación y control de orientación (ADCS), el subsistema de potencia eléctrica (EPS) y el subsistema de control térmico (TCS). Se espera también que USAT1 tenga como cargas secundarias un *star tracker* (ST), un detector de tormentas ionosféricas (DTI) y un reflector láser para mediciones precisas de órbita.

El presente trabajo muestra el diseño preliminar de los subsistemas OBC y ADCS además de los buses de comunicación del satélite, que están siendo desarrollados en la UIDET SENyT. El subsistema de comunicaciones y el receptor GNSS se presentan en dos trabajos aparte.

2. Desarrollo y discusión

2.1. Misión principal

El objetivo principal de la misión consiste en la demostración de capacidades tecnológicas para las técnicas de radio-ocultación y reflectometría GNSS. Para esto la carga útil debe contar con un receptor GNSS capaz de recibir y procesar las señales transmitidas por los satélites GNSS y generar las mediciones necesarias para cada una de estas técnicas, a la vez que el volumen de datos generado determina la capacidad de la OBC necesaria para el almacenamiento de las mismas.

La técnica de radio-ocultación GNSS consiste en la adquisición y seguimiento de los satélites GNSS durante los intervalos de tiempo donde estos se encuentran ascendiendo o descendiendo hacia el horizonte, en los que la señal atraviesa la atmósfera en forma muy oblicua. Mediante la obtención de mediciones de fase de portadora en al menos dos bandas de frecuencia, es posible recopilar información del estado de la atmósfera, lo cual resulta de utilidad para meteorología y estudio del clima [2]. Para el caso de una órbita baja polar, se producen unos 500 eventos de radio-ocultación por día, por lo que, considerando una tasa de 50 Hz para la generación de mediciones de fase en doble frecuencia con una precisión de 64 bits, esto se traduce en un volumen de datos a almacenar de 24 MB por día aproximadamente.

Por otra parte, la técnica de reflectometría GNSS se basa en la recepción y procesamiento de las señales GNSS reflejadas en la superficie terrestre, con el fin de estudiar las propiedades de la superficie reflectante y caracterizarla [3]. En este caso existen

dos posibles enfoques de procesamiento. A fin de reducir el volumen de datos generado es posible realizar un procesamiento a bordo para generar los llamados mapas de retardo-doppler (DDM por su sigla en inglés) [4]. Sin embargo, esto representa una complejidad adicional para el hardware del receptor. Una alternativa consiste en la obtención y guardado de las muestras crudas de la señal recibida en frecuencia intermedia. Esto incrementa notablemente la cantidad de datos generada, pero es posible programar la generación de muestras a demanda por intervalos de tiempo reducidos, en lugar de una generación continua de datos. Considerando eventos de reflectometría de 1 segundo de duración y una frecuencia de muestreo típica de 40 MHz con 2 bits de cuantización el volumen de datos generado es de 10 MB por evento.

Considerando que el USAT1 tendrá una interfaz de comunicaciones que permitirá la descarga de 4MB de datos como máximo por pasada del satélite, la capacidad de almacenamiento necesaria para mantener los datos adquiridos hasta su descarga a tierra puede ser de algunas decenas de megabytes para cumplir con los requerimientos de ciencia.

2.2. Descripción general de sistemas

Una de las primeras decisiones a tomar fue si adoptar un diseño centralizado donde una sola unidad realiza la mayoría de las tareas del satélite (por ejemplo, unir el ADCS y OBC en un solo módulo) o usar un diseño más descentralizado. Un diseño centralizado permitiría simplificar el hardware, pero como contrapartida el software se torna más complejo porque tiene que realizar más tareas y pone más exigencia sobre la confiabilidad de ese módulo; en cambio un esquema descentralizado, al separar tareas en módulos diferentes, facilita el desarrollo del software y reduce los puntos únicos de falla. Se optó por un diseño distribuido, además de por las razones expuestas anteriormente, porque ofrece más flexibilidad, más oportunidad de reutilizar el trabajo en las misiones futuras proyectadas y es un esquema ampliamente utilizado en misiones CubeSat como por ejemplo el MOVE-II [5] y el UWE-3 [6].

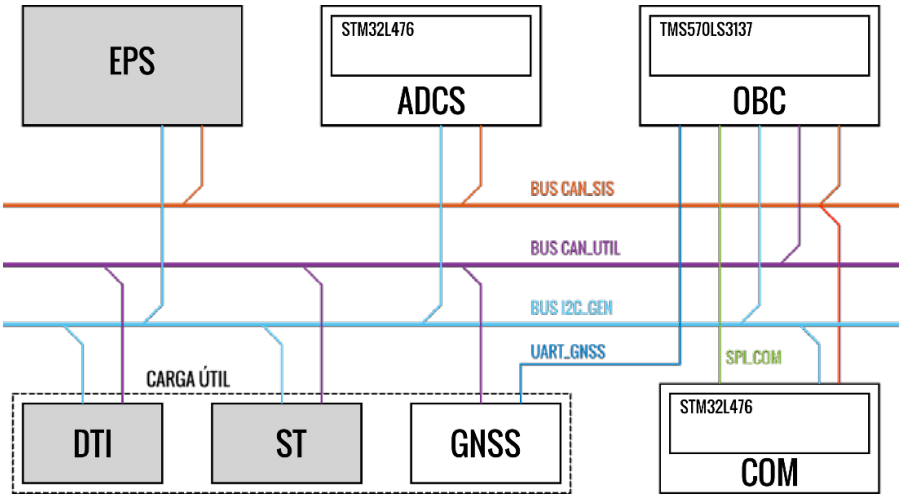


Figura 1: Esquema del USAT1. Los bloques en blanco están siendo desarrollados por la UIDET SENyT.

En la Figura 1 se muestra el esquema general adoptado, donde se indican los buses de comunicación y los números de parte de los microcontroladores elegidos para la OBC, ADCS y COM. Se propusieron tres buses de comunicación: dos que utilizan el protocolo CAN y uno que utiliza el protocolo I2C. El bus CAN_SIS interconecta los subsistemas fundamentales para el funcionamiento del satélite mientras que el bus CAN_UTIL interconecta la OBC con los demás subsistemas que conforman la carga útil. El bus I2C_GEN interconecta todos los subsistemas con la OBC, con el fin de tener un segundo

medio de comunicación en caso de falla en alguno de los buses CAN. Un bus SPI que permite altas velocidades de comunicación se utiliza exclusivamente para la comunicación entre OBC y COM. La comunicación con el receptor GNSS será principalmente por una interfaz UART, teniendo el CAN como respaldo.

2.3. Computadora de a bordo

La computadora de a bordo (OBC) es la responsable de la supervivencia del satélite, determina el modo de funcionamiento del satélite, se comunica con cada uno de los módulos y se encarga de transferir información entre ellos. Esta también se encarga de verificar el correcto funcionamiento de los subsistemas y es capaz de desconectarlos o reiniciarlos en el caso de que detecte una falla o apagarlos si un modo de funcionamiento así lo requiere.

El microcontrolador elegido para la computadora de a bordo es el TMS570LS3137 de Texas Instruments, que tiene 2 núcleos Cortex-R4F en *lockstep* y memoria ECC lo que lo hace ideal para aplicaciones críticas [7]. A pesar de que sólo está disponible en calidad comercial (COTS), la familia TMS570 posee herencia espacial ya que fue utilizado en el helicóptero marciano Ingenuity de la NASA [17], lo que lo hace atractivo para su uso en nanosatélites.

Si bien este microcontrolador es muy robusto, el desarrollo del software para el mismo implica cierta complejidad, ya que su desarrollo plantea un desafío mayor que para el caso de un microcontrolador más tradicional. Para mitigar ese riesgo se tiene contemplado la posibilidad de reemplazar el TMS570 por un STM32L476, un microcontrolador Cortex-M4F de menor complejidad de la firma ST. Por el momento no se conoce que el modelo STM32L476 en particular tenga herencia espacial, aunque microcontroladores de la familia STM32 han sido utilizados en misiones CubeSat como el LituanicaSAT-2 [8]. Este cambio, de llegar a realizarse, no impondría significativos tiempos de espera en adquirir experiencia para el desarrollo de software ya que es el mismo microcontrolador adoptado para los subsistemas ADCS y COM. La única modificación que implicaría en el diseño actual sería unificar los 2 buses CAN de sistema y carga útil en uno solo ya que el ST32L476 cuenta con una sola interfaz CAN [9].

Como se mencionó anteriormente, la OBC está conectada a cada uno de los subsistemas que componen el satélite utilizando las diferentes interfaces del microcontrolador. Tanto para el bus I2C como para los buses CAN se utilizan controladores que brindan cierta protección ante posibles fallas eléctricas. Para la comunicación con el subsistema COM se utiliza protocolo SPI, pero convirtiendo cada señal del protocolo a LVDS con el fin de utilizar señalización diferencial para aumentar la robustez frente al ruido y maximizar la tasa de datos. Para la comunicación con el subsistema GNSS se utiliza protocolo UART, utilizando una interfaz eléctrica RS-422. También se incluyen en la OBC líneas de RESET, necesarias para reiniciar cada uno de los subsistemas si es necesario.

La OBC también se encarga de recolectar los datos de telemetría, los cuales deberá almacenar hasta su descarga desde una estación terrena. Para esto, la OBC utilizará una memoria FLASH QSPI de 512Mbit, cuya capacidad es suficiente para la cantidad de datos de ciencia a almacenar y proporciona un acceso lo suficientemente rápido para el envío de los datos al subsistema COM. También se cuenta con la posibilidad de utilizar una memoria SD con el fin de acelerar las etapas de depuración en laboratorio por la facilidad que otorga en la extracción de datos y pruebas de software, pero también podría utilizarse para el almacenamiento de datos de ciencia en el caso de que esta supere los ensayos ambientales y de vibración. Para el desarrollo de software y depuración se cuenta con una interfaz de usuario, donde puede conectarse un programador adecuado. Finalmente, la OBC incorpora algunos circuitos de sensado de corriente para medir la temperatura en distintas partes del

satélite a través de sensores analógicos como termistores. En la Figura 2 se muestra el diagrama en bloques de la OBC.

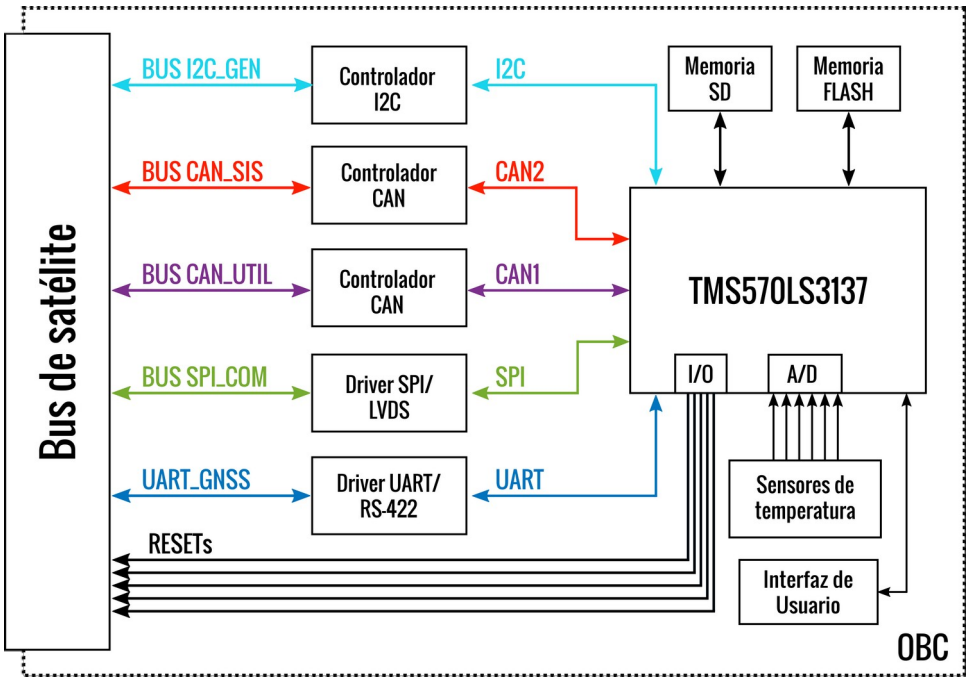


Figura 2: *Diagrama en bloques de la computadora de a bordo.*

2.4. Determinación y control de orientación

El ADCS es responsable de determinar la orientación del satélite, de su detumbado después del despliegue, de su apuntamiento a una orientación favorable a los requerimientos de misión y de su recuperación en el caso de que este empiece a rotar durante la misión.

Para determinar la orientación, algoritmos populares son el método TRIAD [10] o una solución del *problema de Wahba* [11], como el algoritmo QUEST [12]. Estos métodos obtienen la orientación a partir de conocimiento de al menos 2 direcciones, típicamente la dirección del campo magnético de la Tierra y la dirección del Sol. Esto se obtiene con mediciones de magnetómetros y sensores de Sol gruesos (CSS) ubicados en las caras externas del satélite. Giróscopos se utilizan en combinación con algoritmos especiales (por ejemplo, el filtro de Kalman) para mejorar la estimación de la orientación [13].

El control de la orientación se realiza mediante 3 bobinas orientadas perpendicularmente, llamadas bobinas de torque. Estas al circular una corriente eléctrica generan un momento magnético que interactúa con el campo magnético de la Tierra y generan un torque que hace rotar al satélite. Este torque es siempre perpendicular a la dirección del campo geomagnético local, por lo que en cualquier instante hay un eje de rotación que no es controlable, sin embargo, en el transcurso de una órbita el campo geomagnético es variante y existen condiciones que permiten el control de los 3 ejes en la mayoría de las situaciones [14]. No se considera usar ruedas de inercia debido al costo económico y de energía, además de que esta misión no tiene requerimientos de apuntamiento exigentes.

Un último requerimiento es el detumbado del satélite en el caso de que se encuentre girando, particularmente después de la separación con el lanzador. Típicamente esto se hace con el algoritmo Bdot [15] el cuál es sencillo y robusto por solamente necesitar mediciones de magnetómetro para determinar la acción de control.

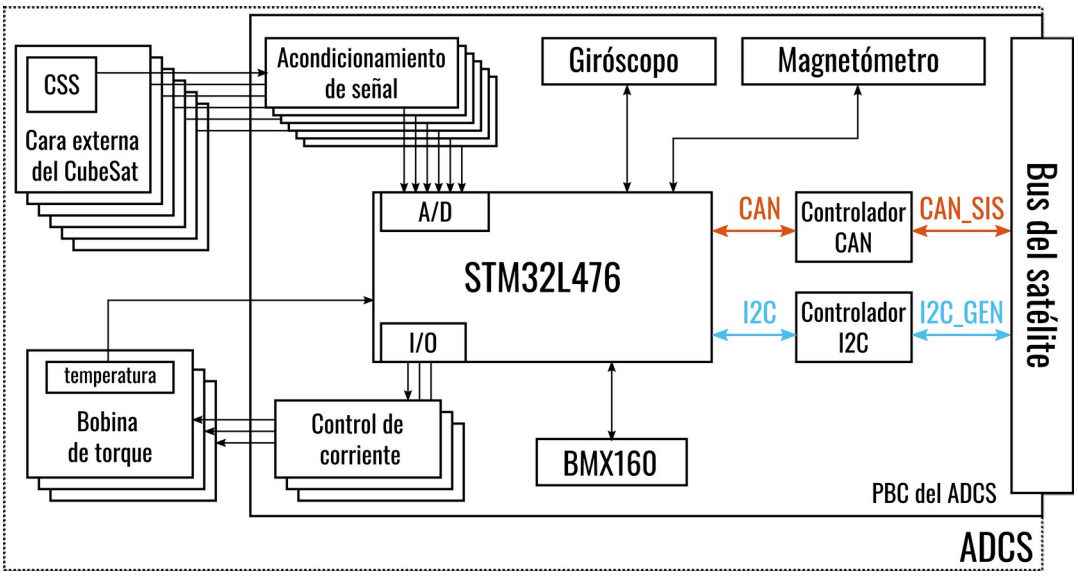


Figura 3: Esquema general del ADCS.

En la Figura 3 se muestra un esquema del ADCS, los componentes principales son el microcontrolador STM32L476, las bobinas de torque y el conjunto de sensores para poder determinar orientación, siendo estos los CSS, magnetómetros y giróscopos.

El STM32L476 es un Cortex-M4F de ST con un reloj de hasta 80Mhz y tiene características deseables para esta aplicación como bajo consumo, memoria RAM con bit de paridad y, considerando los desarrollos hechos en otros CubeSats, suficiente poder de cómputo como para procesar al menos un filtro de Kalman de 6 estados en tiempo real.

Las bobinas de torque en principio se van a adquirir ya fabricadas y solamente se determinó, basados en CubeSats ya desarrollados y en cálculos preliminares, que cada bobina deberá poder generar al menos un momento magnético de 0,3 Am² a corriente nominal. Estas deberán ser accionadas por una etapa con control por corriente que además deberá ser capaz de invertir la polaridad. Se espera tener un sensor de temperatura para verificar el estado de las bobinas.

Los CSS serán provistos por la CNEA y serán similares a los fabricados para misiones satelitales argentinas como el SAC-A [16] y el SAC-D/Aquarius. Estos son similares a celdas solares donde la corriente de cortocircuito está relacionada con el coseno del ángulo de incidencia de la radiación solar (que será afectado por el albedo de la Tierra y reflejos con partes del satélite) y esta corriente es prácticamente insensible a los cambios de temperatura para los rangos considerados [16]. La corriente se deberá convertir a un nivel de tensión mediante un acondicionamiento de señal y medir con los conversores A/D del microcontrolador. Se requieren al menos 6 sensores (uno por cada cara del satélite) para determinar la dirección del Sol, un algoritmo sencillo para ello se encuentra en [13].

El magnetómetro y giróscopo principales para el ADCS aún no fueron seleccionados, pero sí se seleccionó el BMX160 de Bosch, que es una unidad de mediciones inerciales (IMU) de bajo costo, para que sirva como respaldo. Esta IMU contiene acelerómetros (que no serán usados por el ADCS), giróscopos y magnetómetros en un solo encapsulado y la versión sin magnetómetro se utilizó en el helicóptero Ingenuity [17], modelos anteriores de la misma familia como el BMX055 fueron usados en CubeSats como el MOVE-II [18].

2.5. Software

El software que ejecutarán las tareas de la OBC y ADCS aún está en proceso de evaluación, sí se tiene elegido el sistema operativo (OS) que será RTEMS; este es un OS de tiempo real utilizado en aplicaciones espaciales el cuál el equipo de trabajo tiene

experiencia. Se está evaluando el uso de CSP [19] como capa de comunicaciones y las opciones de Fprime [20] o cFS [21] como plataformas de software de vuelo.

3. Conclusiones

Se presentó una propuesta preliminar de la OBC y ADCS para el primer satélite de la UNLP. Se definieron los buses de comunicación entre los subsistemas y las características generales que la OBC y ADCS deberán cumplir en función de los requerimientos de misión.

4. Bibliografía

[1] Portal Investiga UNLP, “El sueño del satélite propio, cada vez más cerca”. Disponible en: https://investiga.unlp.edu.ar/cienciaenaccion/el-sueno-del-satelite-propio-cada-vez-mas-cerca-20298
[2] A.J. Mannucci, C.O. Ao, L.E. Young, T.K. Meehan, “Studying the atmosphere using global navigation satellites”, Eos, Transactions American Geophysical Union, vol. 95, n. 43, pp. 389–390, 2014.
[3] S. Jin, E. Cardellach, F. Xie, *GNSS Remote Sensing*, Springer, Dordrecht, 2014.
[4] Teunissen, Peter J. G. and Montenbruck, Oliver, Eds., *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Springer, 2017.
[5] M. Langer *et al.*, “MOVE-II THE MUNICH ORBITAL VERIFICATION EXPERIMENT II”, p. 19, 2017.
[6] P. Bangert, *Attitude Determination of UWE-3: Development, Test and Verification*. 2012.
[7] Texas Instruments, “TMS570LS313716- and 32-BitRISC Flash Microcontroller”.
[8] L. Maciulis y V. Buzas, “LituanicaSAT-2: Design of the 3U in-Orbit Technology Demonstration CubeSat”, *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 32, n. 6, pp. 34-45, 2017.
[9] STMicroelectronics, “STM32L476xx-Ultra-low-power Arm® Cortex®-M4 32-bit.
[10] H. D. Black, “A passive system for determining the attitude of a satellite”, *AIAA Journal*, vol. 2, n. 7, pp. 1350-1351, 1964.
[11] G. Wahba, “A Least Squares Estimate of Satellite Attitude”, *SIAM Rev.*, vol. 7, n. 3, pp. 409-409, 1965.
[12] M. Shuster, “Approximate algorithms for fast optimal attitude computation”, Guidance and Control Conference, Palo Alto, CA, U.S.A., 1978.
[13] J. L. C. F. Landis Markley, *Fundamentals of Spacecraft Attitude Determination and Control*. Springer, New York, NY, 2014.
[14] S. P. Bhat y A. S. Dham, “Controllability of spacecraft attitude under magnetic actuation”, *42nd IEEE International Conference on Decision and Control,* vol. 3, pp. 2383-2388, 2003.
[15] G. Avanzini y F. Giulietti, “Magnetic Detumbling of a Rigid Spacecraft”, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 35, n. 4, pp. 1326-1334, 2012.
[16] C. G. Bolzi *et al.*, “First experiment of Argentine solar cells in space: modules fabrication, characterisation, and telemetry data analysis from SAC-A satellite”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 73, n. 3, pp. 269-280, 2002.
[17] B. Balaram *et al.*, “Mars Helicopter Technology Demonstrator”, 2018 AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, Kissimmee, Florida, 2018.
[18] D. MESSMANN *et al.*, “Advances in the Development of the Attitude Determination and Control System of the CubeSat MOVE-II”, *Proceedings of the 7th European Conference for Aeronautics and Space Sciences. Milano, Italy,* 2017.
[19] L. Grillmayer y S. Arnold, “Integrating the Cubesat Space Protocol into GSOC’s Multi-Mission Environment”, p. 11, 2020.
[20] R. Bocchino, T. Canham, G. Watney, L. Reder, y J. Levison, “F Prime: An Open-Source Framework for Small-Scale Flight Software Systems”, p. 19, 2018.
[21] D. McComas, J. Wilmot, y A. Cudmore, “The Core Flight System (cFS) Community: Providing Low Cost Solutions for Small Spacecraft”, *Small Satellite Conference*, 2016.

DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA EL NANOSATÉLITE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Lombardozzo, Simón M. – Roncagliolo, Pedro A.
simon.lombardozzo@ing.unlp.edu.ar - agustinr@ing.unlp.edu.ar
UIDET SENyT, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de la Plata, Calle 116 s/n, B1900, La Plata, Argentina.

Palabras Claves: nanosatélite, Cubesat, RF, comunicaciones, antena.

1. INTRODUCCIÓN

El en el marco del proyecto de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), que lleva adelante el Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) de la Facultad de Ingeniería, para desarrollar el primer Cubesat (nanosatélites compuestos por unidades cúbicas de 10 cm de lado [1]) universitario de nuestro país [2], se propone el diseño del sistema de comunicaciones para el mismo. Este sistema es uno de los más importantes dentro de cualquier proyecto satelital ya que es la única manera de conocer el estado del satélite una vez en órbita y de comandarlo en caso de que sea necesario. A su vez se encarga de transmitir íntegramente los datos generados por los instrumentos científicos que dan sentido a cada misión en particular. Los Cubesats, se han vuelto muy populares a nivel global [3], por su simplicidad y sobre todo en universidades donde los recursos económicos son limitados. A diferencia de los proyectos satelitales tradicionales, en los Cubesats, la esencia es lanzar satélites con mayor frecuencia, menor vida útil (del orden de meses) y de tamaño reducido (posibilitando compartir los lanzadores y disminuir su costo). En proyectos universitarios, los Cubesats son satélites de órbita baja para reducir los costos de lanzamiento, disminuir impacto de la radiación, facilitar la reentrada a la atmósfera terrestre luego del final de su vida útil, etc. Sin embargo, estas características dificultan las comunicaciones de la nave con las estaciones terrenas. En órbitas que no superan los 600 km de altura, los momentos en los cuales se tiene visibilidad del satélite para poder establecer la comunicación, se reducen a intervalos de algunos minutos por día. Por otro lado, el tamaño del satélite limita la cantidad de paneles solares y, por ende, la energía disponible para los distintos subsistemas. En la Figura 1 se puede observar un Cubesat típico de 3 unidades desarrollado por la universidad de Aalto [4], que se tomó como referencia en distintos aspectos.

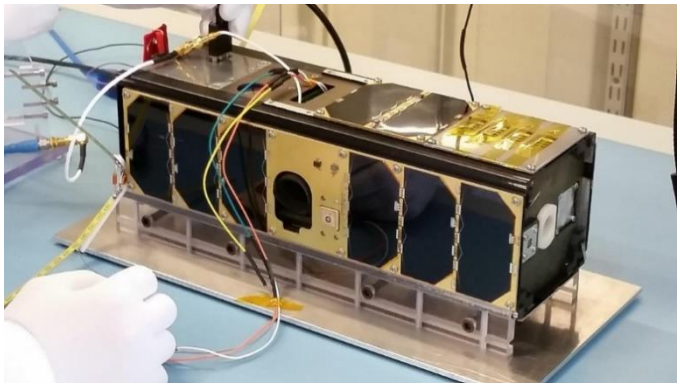


Figura 1. Nanosatélite Aalto-1

2. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

2.1. REQUERIMIENTOS DE LA MISIÓN

El proyecto de la UNLP consta de cinco nanosatélites de un máximo de veinte kilogramos y seis unidades cúbicas tipo Cubesat. El primero de ellos tendrá como carga útil para la generación de datos de tipo científico, un receptor de GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) que realizará mediciones de la ionósfera mediante técnicas de radio-ocultación (GNSS-RO) y reflectometría (GNSS-R) [5]. Teniendo en cuenta la gran cantidad de mediciones que se generarán en esta misión y la necesidad de transmitirlas con el menor procesamiento posible para no afectar la calidad de las mismas, se deberá enviar un importante volumen de datos desde el satélite hacia la estación terrena. Esto sumado al acotado tiempo de visibilidad de la nave en cada periodo orbital, se traduce en un enlace de datos con una tasa de transmisión considerablemente alta.

Por otro lado, el enlace debe permitir la transmisión del estado del satélite mismo en cuanto a sus parámetros vitales (tensiones de batería, consumo de potencia, temperaturas en puntos relevantes, posición y velocidad, orientación, etc.) hacia la estación terrena, lo que usualmente se denomina telemetría, así como la posibilidad de enviar comandos hacia el satélite que permitan modificar ciertos parámetros de su funcionamiento (cambiar entre modos de misión, encender o apagar ciertos instrumento o equipos, etc.), acciones denominadas habitualmente telecomandos. Tanto la telemetría en la estación terrena como los telecomandos en el satélite, deben poder recibirse sin importar la posición y orientación de este. Esto se desprende de la posibilidad de que el satélite quede rotando sobre su propio eje o en una orientación incorrecta por intervalos de tiempo indefinidos debido a fallas en el sistema de control actitud. Por lo tanto, se debe garantizar un enlace de comunicaciones robusto que trabaje en paralelo con el requerido para la transmisión de datos de ciencia.

2.2. SOLUCION PROPUESTA

Como se mencionó anteriormente, el espíritu del trabajo es realizar un sistema de comunicaciones apto para un satélite universitario de órbita baja sin gastar grandes cantidades de recursos como es común en un proyecto satelital tradicional. Para ello se propone utilizar componentes comerciales de bajo costo (COTS), porciones del espectro radioeléctrico sin una licencia exclusiva (cuya solicitud excedería los tiempos del proyecto), y aprovechar los desarrollos en materia de comunicaciones realizados anteriormente por el grupo de investigación. A continuación, se describen las soluciones adoptadas para las distintas partes que componen el sistema de comunicaciones propuesto. Empezando por las bandas de frecuencias donde se llevará a cabo el canal de comunicaciones, siguiendo por los circuitos integrados disponibles en el mercado capaces de llevar a cabo dicha comunicación y finalmente las antenas y los protocolos de comunicación que garantizarán la cobertura adecuada y la integridad de los datos.

2.2.1 Banda de frecuencias

Para la telemetría y los telecomandos se propone utilizar la banda de 434 MHz. La misma es conocida en carácter de atribución primaria como “banda de 70 cm” siendo utilizada sólo por usuarios con licencia de radioaficionado y radioaficionados por satélite sin fines

comerciales [6]. Esta decisión se tomó considerando dos criterios fundamentales: la compatibilidad de una gran cantidad de transceptores comerciales de RF (radiofrecuencia) con este intervalo del espectro y la posibilidad de colaboración de la comunidad de radioaficionados para la recepción de los datos en distintos lugares del territorio argentino. Por otra parte, utilizar esta frecuencia tiene como desventaja que el ancho de banda permitido es bastante limitado (12 kHz para comunicaciones digitales) y por ello no es apto para el enlace de bajada de datos de ciencia generados por el receptor de GNSS. Para alcanzar tasas de transmisión del orden de los cientos de kbps (kilobits por segundo) es necesario trasladarnos a regiones superiores del espectro como la banda de 2,4 GHz (Banda S) reservada para aplicaciones industriales, científicas y médicas.

2.2.2 Componentes COTS

En esta sección se describen los módulos básicos que debe tener el sistema de comunicaciones que se montará en el nanosatélite y los circuitos integrados seleccionados para su implementación. Cabe destacar que los chips se seleccionaron teniendo en cuenta las opciones disponibles en el mercado y priorizando aquellos que poseen herencia de vuelo (que han sido usados con éxito en otras misiones espaciales).

El transceptor (transmisor y receptor) de RF es el módulo más importante de la placa. Este componente es el encargado de acondicionar y transmitir los datos hacia la estación terrena, así también como de recibir los comandos enviados para encender/apagar distintos subsistemas, etc. Por su herencia de vuelo y por haber sido utilizados en proyectos anteriores adquiriendo experiencia suficiente, se seleccionaron transceptores de Texas Instruments para los dos enlaces de datos propuestos. El CC1200 [7], para la telemetría y los telecomandos en UHF (banda de 434 MHz) y el CC2500 [8], para los datos en Banda S. Los transceptores de RF antes mencionados cuentan con una potencia de salida máxima del orden de los 14 dBm. Este valor está muy por debajo de la potencia necesaria para obtener un enlace robusto y confiable debido a las altas perdidas en el trayecto de la señal. Es por ello que se debe incluir en la placa un amplificador de RF capaz de elevar dicha potencia de salida al orden de los 30 dBm (1 W) típicos para este tipo de aplicaciones. Diversas empresas ofrecen este tipo de productos, pero se seleccionaron los productos de Qorvo (RFFM6404 [9], para UHF y RFPA5218 [10], para Banda S) por su eficiencia energética y herencia de vuelo. Otro bloque de suma importancia para la placa es el microcontrolador ya que es el encargado de “orquestar” el funcionamiento de los distintos componentes y facilitar la comunicación con la computadora del satélite y los distintos subsistemas. En este caso se optó por un microcontrolador de 32 bits de STMicroelectronics (STM32L476) por tener buena capacidad de cómputo, bajo consumo y, aunque se desconoce si este modelo en particular tiene herencia de vuelo, la familia STM32 es utilizada con éxito en otras misiones espaciales [11].

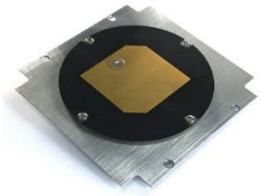
2.2.3 Antenas

Por un lado, es necesario garantizar la transmisión de telemetría y recepción de comandos en UHF sin importar la orientación del satélite. Esto nos lleva a la elección de una antena de baja directividad, con igual ganancia en todas las direcciones [12]. En la Figura 2 se muestra una antena tipo turnstile (torniquete) que se considera ideal para cumplir con dicho requerimiento. El desarrollo de este tipo de antenas tiene cierto grado de dificultad en cuanto a su adaptación, pero aún más en lo que refiere al despliegue. Se necesita un mecanismo

que lleve cada una de las cuatro antenas a la posición correcta una vez que el satélite esté en órbita, que no falle durante el despliegue y lo suficientemente seguro para que no se active en un momento inoportuno.

Por otro lado, se requiere un enlace de alta velocidad en Banda S para los datos generados por los instrumentos de ciencia. Para esto es necesario una antena de ganancia suficiente para garantizar la tasa de transmisión requerida pero no demasiado directiva para evitar problemas de apuntamiento. Recordemos que los Cubesats están limitados en potencia y volumen por lo que no tienen mecanismos control de actitud de gran precisión. La simulación y evaluación de las distintas posibilidades llevó a la elección de una antena tipo parche con polarización circular como la que se muestra en la Figura 3.





Figuras 2. Antena turnstile Figura 3. Antena parche

2.2.4 Protocolo de comunicaciones

Otro aspecto de suma importancia a considerar cuando se diseña un sistema de comunicaciones es el protocolo que se adopta a la hora de manejar los paquetes de datos en los extremos del canal de comunicación. Para el enlace con la estación terrena se seguirán dos protocolos distintos. En el caso de la telemetría y los telecomandos se adoptará el protocolo FX.25 que se utiliza comúnmente en dispositivos de radioaficionados siendo de sencilla implementación y que facilita la colaboración con dicha comunidad para la recepción de los datos [13]. Por otro lado, para el enlace de alta velocidad se utilizará el protocolo de Texas Instruments propio de los transceptores de RF [14]. Las comunicaciones dentro del satélite también necesitan su protocolo de datos. En este caso se está evaluando el uso del protocolo CSP de la empresa GOMSpace que es de código abierto y está probado en diversas misiones espaciales [15]. El mismo soporta interfaces de distintos tipos como CAN, I2C, RS-232, que se utilizarán para los buses que comunican la computadora de a bordo (OBC) con los distintos subsistemas dentro del Cubesat. Cabe destacar que, para la comunicación principal del subsistema de comunicaciones con la OBC se necesita una interfaz robusta y lo suficientemente rápida para no generar cuellos de botella a la hora de transmitir los datos. Para ello se optó por una interfaz SPI con LVDS (Señal Diferencial de Baja Tensión) que garantiza una tasa de transmisión de hasta 400 Mbps.

2.3 DISEÑO DEL SUBSISTEMA A BORDO

El diseño de la placa electrónica para el nanosatélite se llevó a cabo en un software de diseño de circuitos impresos. En primer lugar, se realizó el interconexionado del circuito a nivel esquemático para luego pasar a un diseño de PCB (Printed Circuit Board) y posterior modelado 3D. Con el fin de obtener un buen desempeño en cuanto a compatibilidad electromagnética se utilizaron encapsulados de montaje superficial y se organizó el diseño en

de circuito impreso en 4 capas, dos para el montaje de componentes y líneas de señal, un plano de tierra y un plano de alimentación. El tamaño y forma de la placa se eligió en base a estructuras y módulos Cubesat comerciales [16]. Además, se agregaron conectores para la programación, conexión con los demás módulos del satélite. En la Figuras 4 y 5 se muestra un diagrama en bloques del subsistema y el modelo 3D de la placa lista para su fabricación.

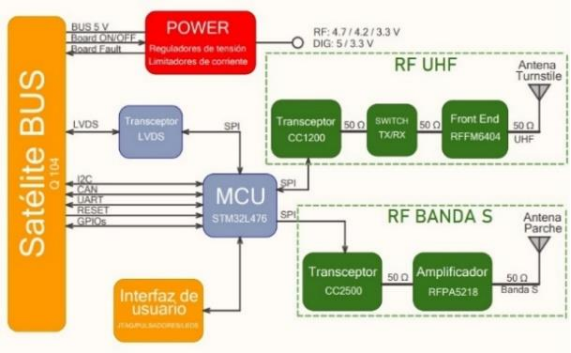


Figura 4. Diagrama en bloques de la placa

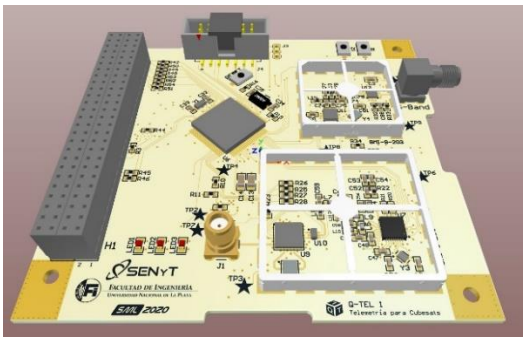


Figura 5. Modelo 3D

2.4 ESTACIÓN TERRENA

La estación terrena debe contar con antenas en ambas bandas de frecuencias. Estas deben garantizar un margen de ganancia suficiente como para soportar interferencias y errores en el apuntamiento del satélite. Cuando hablamos de margen nos referimos a la potencia recibida por encima de la mínima necesaria para la correcta recepción de los datos. Dicho margen, se estima a partir del cálculo de enlace que se realizó con extremo cuidado pero que excede el alcance del presente trabajo. Para el enlace de UHF típicamente se utilizan antenas tipo Yagi con ganancias del orden de los 17 dB que se pueden diseñar fácilmente o comprar en casas de electrónica ya que se utilizan en gran cantidad de aplicaciones cotidianas como TV o Radio. En el caso del enlace de Banda S se debería utilizar una antena de tipo parabólica que son mucho más directivas y alcanzan ganancias de decenas de decibeles. Dichas antenas también pueden ser fáciles de adquirir en el mercado ya que operan en la frecuencia de WiFi. Cabe destacar que muchas universidades y radioaficionados ya tienen estaciones de este tipo que se podrían compartir y/o tomar como referencia para el diseño propio. En la Figura 6 se presenta una estación terrena típica para este tipo de proyectos [17].



Figura 6. Estación terrena típica para Cubesats

3. CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo como objetivo principal el diseño de un sistema de comunicaciones para un nanosatélite capaz de operar tanto en UHF (banda de radioaficionados en 434 MHz) como también en Banda S (banda de 2.4 GHz para aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas). En primer lugar, se analizaron los requerimientos de la misión para luego proponer una solución de bajo costo capaz de cumplir acabadamente con dichas exigencias. Además, se definieron las bandas de frecuencia a utilizar, siguiendo las recomendaciones y regulaciones impuestas por la Unión Internacional de Comunicaciones, se seleccionaron los circuitos integrados disponibles en el mercado que contaban con herencia de vuelo y que mejor se adaptaban al diseño propuesto y, a partir de un software de diseño de circuitos impresos, se realizó un primer prototipo de la placa electrónica para el nanosatélite en base a un PCB multicapa con miras a conseguir un buen desempeño en cuanto a compatibilidad electromagnética. A su vez, se seleccionaron antenas con las características adecuadas para cumplir con los distintos requerimientos y el protocolo de comunicaciones para garantizar un buen manejo de los datos y paquetes. Finalmente, se presentaron posibles estaciones terrenas para la recepción de los datos y transmisión de telecomandos estimando la calidad y desempeño de las mismas.

4. BIBLIOGRAFÍA

[1] http://www.cubesat.org
[2] https://investiga.unlp.edu.ar/cienciaenaccion/el-sueno-del-satelite-propio-cada-vez-mas-cerca-20298
[3] KLOFAS B., ANDERSON J. A Survey of CubeSat Communication Systems: 2009-2012. CubeSat Developers Workshop, Cal Poly State University, San Luis Obispo, California. 2013.
[4] Aalto-1, https://www.aalto.fi/en/spacecraft/aalto-1-the-finnish-student-satellite-project
[5] SHUANGGEN JIN. GNSS Remote Sensing. Springer, 2014.
[6] UIT. Reglamento de radiocomunicaciones. Ginebra, Suiza. 2020.
[7] http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1200.pdf
[8] http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2500.pdf
[9] https://www.qorvo.com/products/p/RFFM6404
[10] https://www.qorvo.com/products/p/RFPA5218
[11] https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32l476rg.html
[12] BALANIS, CONSTANTINE A. Antenna Theory, Analysis and Design. Wiley, 3rd Ed., 2005.
[13] Forward Error Correction Extension to AX.25 Link Protocol for Amateur Packet Radio, http://www.stensat.org/docs/FX-25_01_06.pdf
[14] CC1200 User's Guide, https://www.ti.com/lit/ug/swru346b/swru346b.pdf
[15] Cubesat Space Protocol, http://www.libcsp.org
[16] https://www.pumpkinspace.com
[17] Full Ground Station Kit VHF/UHF/S-band, https://www.isispace.nl/product/full-ground-station-kit-for-vhfuhfs-band/

MODELO SEIR EXTENDIDO PARA COVID-19 COMO BASE DE DECISIÓN DE POLÍTICAS SANITARIAS. EL CASO ARGENTINO.

Inthamoussou, Fernando A., Valenciaga, Fernando, Núñez, Sebastián, Garelli, Fabricio

Grupo de Control Aplicado (GCA), Instituto LEICI, Facultad de Ingeniería, UNLP - CONICET
{intha,fval,sebastian.nuniez,fabricio}@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: COVID-19, SARS-CoV-2, Modelo SEIR extendido, Vacunación, Pérdida de Inmunidad

1. INTRODUCCIÓN

La reciente epidemia de SARS-CoV-2 ha inducido una gran cantidad de importantes trabajos de investigación en diferentes campos de la ciencia. El objetivo principal ha sido entender el comportamiento del virus para encontrar herramientas que permitan paliar sus efectos ante la inicial falta de medicamentos efectivos. Intervenciones no farmacológicas como cuarentenas, distanciamiento social, suspensión de actividades escolares, prohibición de eventos masivos, el uso de mascarillas faciales y un exhaustivo testeo han demostrado ser las únicas medidas capaces de ralentizar el esparcimiento del virus [1]. El adecuado uso de estas medidas sanitarias permite evitar la saturación del servicio de atención médica especialmente en el caso de unidades de terapia intensiva (UTI) con asistencia respiratoria mecánica.

Al momento de la realización de este trabajo sólo unos pocos países se encontraban iniciando campañas de inmunización con vacunas aprobadas para este contexto de emergencia. Sin embargo, debido a su reducida disponibilidad a nivel mundial, generada por bajos niveles de producción, el no levantamiento de las patentes y el acaparamiento irracional de los países dominantes, las intervenciones no farmacológicas continúan siendo las únicas medidas efectivas al alcance de la mayoría de los gobiernos mundiales.

El proceso de transmisión de enfermedades respiratorias puede describirse a partir de un conjunto de ecuaciones diferenciales que representan la dinámica de pertenencia de grupos poblacionales a diferentes estadíos de salud identificados mediante compartimientos excluyentes que presentan velocidades de transición entre ellos, típicas de cada enfermedad [2]. Así, la complejidad del modelo y su identificación está relacionada con el número de compartimientos considerados y los posibles caminos entre ellos, necesarios para describir la dinámica de la enfermedad con suficiente exactitud [3, 4].

Este trabajo presenta un modelo dinámico compartimental del tipo SEIR (Susceptibles-Expuestos-Infectados-Recuperados) extendido que permite predecir la evolución social de la enfermedad, la efectividad de campañas de detección y/o de medidas de aislamiento, los efectos de campañas de vacunación con o sin pérdida de inmunidad y las consecuencias de tener casos 'importados'. El modelo propuesto considera la población dividida en 15 capas etarias de 5 años de amplitud y fue sintonizado para el caso argentino usando estadísticas oficiales adecuadamente procesadas. A partir de él se consideraron varios escenarios de simulación.

2. MODELO DINÁMICO

Una representación esquemática del modelo compartimental usado para cada una de las bandas etarias consideradas, se presenta en la Figura 1. En ella pueden observarse los diecisiete

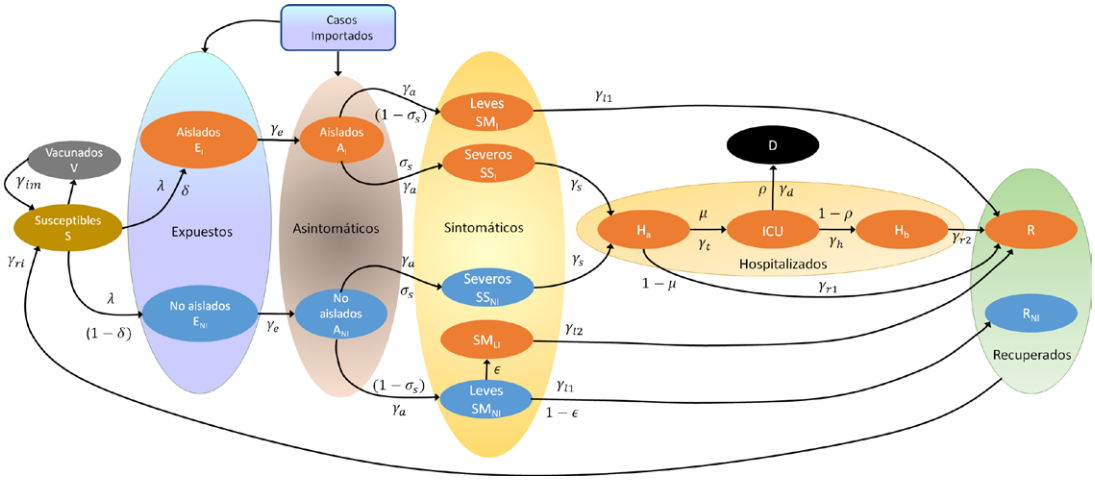


Figura 1: Estructura Esquemática Compartimental del Modelo para COVID-19

estados de salud principalmente organizados en dos ramas que convergen parcialmente hacia el lado derecho de la figura donde se agrupan los bloques que están relacionados a estadíos de salud que requieren hospitalización. Considerando una población inicial saludable de N_I individuos por banda etaria, sin anticuerpos específicos contra el SARS-Cov-2, la rama superior en color naranja representa la secuencia de estados de salud de personas cuya infección es detectada tempranamente por campañas de testeo y por ende aislada. Luego de haber sido contagiada con una tasa de transmisión λ y detectada con una probabilidad δ, estas personas aisladas denominadas expuestas (E_I) desarrollan la aptitud de contagio luego de T_e días sin presentar síntomas. Esta etapa contagiosa asintomática (A_I) dura T_a días en promedio, luego de lo cual una porción σ_s de estos individuos (porción dependiente de la banda etaria) comienzan a exhibir síntomas severos (SS_I) requiriendo hospitalización. El resto de ellos sólo experimenta síntomas leves o moderados (MS_I) recuperando su salud (R) y dejando de contagiar luego de T_{l1} días en promedio.

Por otro lado, la rama inferior en azul considera el progreso del estado de salud de personas cuya infección no es detectada hasta que resulta sintomática. Estos individuos expuestos no detectados (E_{NI}) desarrollan un derrotero similar a los del grupo anterior, caracterizado por los mismos parámetros (T_e, T_a y σ_s). Sin embargo, a diferencia del caso previo una porción ϵ de los que desarrollan síntomas leves son detectados tardíamente (MS_{LI}), a partir de lo cual pasan a ser aislados por un período de T_{l2} días y luego recuperados. El resto de ellos (MS_{NI}) se consideran completamente recuperados (R_{NI}) luego de un período de T_{l1} días en promedio.

Todos los individuos que llegan a presentar síntomas severos, son inexorablemente ingresados en instituciones hospitalarias. Típicamente, luego de un período de T_t días en promedio, una porción μ de estos pacientes, dependiente de la banda etaria, desarrolla complicaciones respiratorias y debe ser trasladada a unidades de terapia intensiva (UTI) equipadas con respiradores mecánicos. Los pacientes restantes continúan recuperándose con cuidados menores dentro de instituciones de salud hasta que, luego de un período promedio de T_{r1} días son dados de alta y considerados como recuperados (R). Lamentablemente, una porción ρ de pacientes graves en UTI, dependiente de la banda etaria, finalmente mueren luego de un período de T_d días en promedio. Los pacientes restantes permanecerán en UTI durante T_h días en promedio, luego de lo cual regresan a sala común (H_b) durante T_{r2} días antes de ser dados de alta y considerarse recuperados (R).

Todos los pacientes recuperados adquieren temporalmente anticuerpos contra la enfermedad, luego de lo cual retornan al compartimiento de la población susceptible pudiendo reinfectarse. El

período de inmunidad (T_{ri} días) puede seleccionarse en las simulaciones llegando incluso a ser permanente. La vacunación se considera incorporando el estado V el cual es alimentado con una velocidad igual a la tasa de vacunación (VR) pudiendo regularse su período de inmunidad a partir del parámetro T_{im}. Finalmente, los casos importados (CI), pueden incorporarse como caminos de alimentación directa sobre los estados de personas expuestas, sintomáticas o asintomáticas tanto sobre las ramas de personas detectadas o no detectadas.

El modelo presentado asume las siguientes simplificaciones: i) Los casos severos son siempre ingresados a instituciones hospitalarias mientras que los casos con síntomas moderados/leves transcurren la enfermedad es su domicilio. ii) No se tienen en cuenta comorbilidades/sexo en las capas modelizadas. iii) Los pacientes ingresados a UTI solo provienen de etapas de hospitalización previa iv) Cada banda etaria considera una población inicial fija. Estas asunciones son suficientemente adecuadas en simulaciones de períodos cortos a medios. Las ecuaciones dinámicas correspondientes a este modelo no se incluyen aquí por falta de espacio. Para mayor detalle se refiere al lector a [5].

La tasa de transmisión es un parámetro variante característico de cada banda etaria. Su expresión detallada puede consultarse en [5]. Esta dependencia etaria habilita la segmentación de medidas de control de la epidemia en cuanto a tratamientos farmacológicos y no farmacológios (cuarentenas, aislamiento social, etc.) y a campañas de vacunación escalonadas o parciales. Así, el modelo propuesto constituye una herramienta valiosa para evaluar con anticipación el efecto de las diferentes medidas de control sanitario posibles, constituyendo un soporte sistemático para la toma de decisiones tendientes a reducir el número de casos fatales o la duración de la epidemia.

Dado que el efecto de contagio no es uniforme sobre todas las bandas etarias, cada tasa de contagio en particular es pesada mediante una matriz que contabiliza los contactos riesgosos con los individuos de todas las bandas etarias [6, 7]. La Figura 2 muestra gráficamente el aspecto de esa matriz la cual asume diferentes formas de acuerdo a las costumbres de las diferentes sociedades o culturas. La suspensión parcial o total de actividades que involucren bandas etarias específicas (escolaridad, universidad, etc.) pueden considerarse a través de la modulación apropiada de los bloques de la matriz de contactos riesgosos que correspondan mientras que el efecto de cuarentenas, distanciamiento social o medidas de restricción de la movilidad se consideran a través de un coeficiente r_c que afecta la expresión general.

3. AJUSTE DEL MODELO PARA EL CASO ARGENTINO

El modelo previamente descripto se sintonizó de manera que representara correctamente la evolución de la pandemia observada en la Argentina. Para ello se usó la base de datos del Ministerio de Salud de la Nación adecuadamente procesada [8].

La Figura 3 muestra los resultados del proceso de ajuste del modelo. Específicamente presenta los casos activos, los recuperados, pacientes en UTI y fallecidos. En todas las gráficas las líneas llenas en azul, cian y negro representan las predicciones del modelo correspondientes a detectados (aislados), no detectados (no aislados) y casos totales respectivamente. Todas las curvas están normalizadas respecto de la población total N (censo 2010). Las líneas en verde representan los respectivos casos registrados. El proceso de ajuste se realizó usando solamente los casos activos aislados ya que son los únicos que pueden contrastarse con datos oficiales. Como es usual en problemas de identificación, se puede observar en el primer gráfico un primer período de ajuste en línea roja y un segundo período de validación en línea verde. Los buenos resultados obtenidos avalan el uso de este modelo para predecir la evolución de la pandemia ayudando a evaluar las consecuencias sanitarias de las diferentes intervenciones posibles.

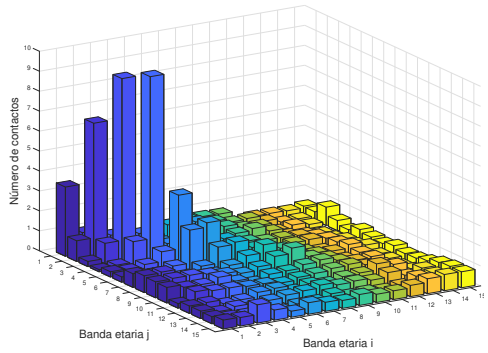


Figura 2: Matriz de Contactos Riesgosos (bandas de 5 años)

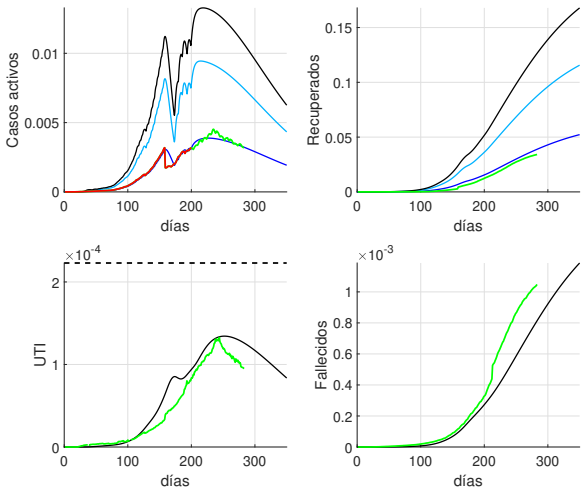


Figura 3: Ajuste del Modelo y Validación

4. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

En esta sección se presentan resultados de simulación organizados en base a dos escenarios potenciales que incluyen diferentes intervenciones farmacológicas y no farmacológicas. Todos estos escenarios consideran el contexto argentino, el cual involucra suspensión de actividades escolares presenciales (Jardín-Primaria-Secundaria-Universidad) y una sostenida reducción de la movilidad de personas mayores (auto-cuidado).

4.1. Escenario A: Campañas de Detección y Restricciones de Movilidad

Este escenario considera campañas de detección con diferentes grados de intensidad (δ) en combinación con restricciones a la movilidad y distanciamiento social. Los resultados pueden observarse en la Figura 4 donde se presentan las gráficas de la ocupación de UTI, el número de pacientes recuperados y los fallecimientos para cinco combinaciones de valores de movilidad r_c y detección δ normalizados respecto de la población (N). Las curvas correspondientes a diferentes valores de r_c se distinguen por color ($r_c = 0{,}2$ en negro; $r_c = 0{,}4$ en azul y $r_c = 0{,}6$ en rojo), mientras que distintas intensidades de detección (δ) se representan con diferentes trazos ($\delta = 0,1$ línea llena; $\delta = 0,2$ línea a trazos y $\delta = 0,4$ línea punteada). Observando estas figuras es directo concluir que incrementos en la detección de casos no produce una reducción substancial en las cifras finales de muertes y casos recuperados cuando la movilidad social no se restringe de forma moderada a fuerte. Una baja movilidad acompañada de distanciamiento, uso de barbijos, etc. refuerza considerablemente el efecto positivo de campañas de detección intensivas sobre el número final de fallecidos. Este comportamiento puede observarse claramente en las curvas correspondientes a $r_c = 0,2$, remarcando la importancia del manejo conjunto de este tipo de intervenciones.

4.2. Escenario B: Vacunación sin Reinfección y Reestablecimiento de Actividades

En esta subsección se evalúan diferentes estrategias de vacunación de efectos permanentes en combinación con la reapertura presencial de actividades escolares en todos sus niveles y el final del autoconfinamiento de personas mayores. Todas las campañas de vacunación arrancan el 15 de enero de 2021 y duran aproximadamente 60 días, eventos que son señalados en la Figura 5 con líneas verticales negras, llenas y a trazos respectivamente. Esta figura incluye gráficos en donde se representan la población susceptible (S), los casos activos, los pacientes

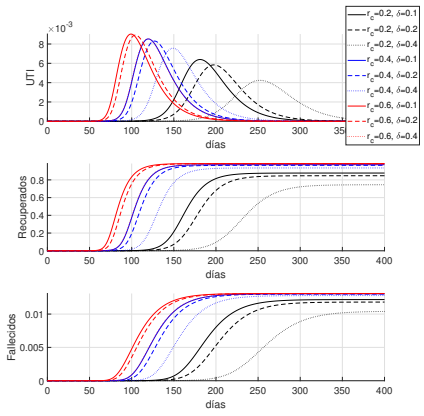


Figura 4: Campañas de detección con restricción de movilidad

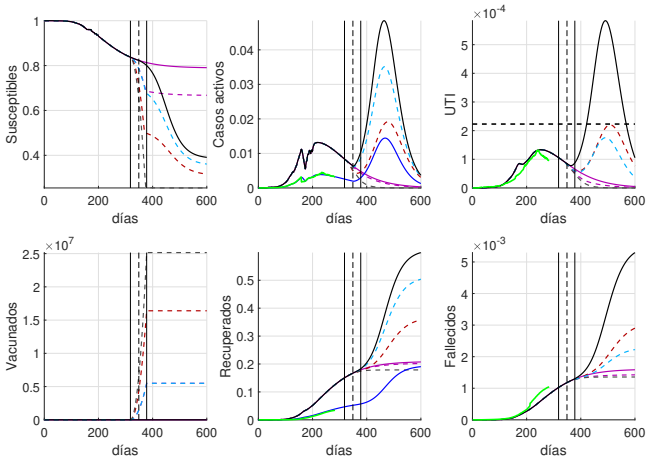


Figura 5: Escenario considerando vacunación y reestablecimiento de actividades

en UTI, las personas vacunadas (V), la población recuperada (R) y los fallecidos (D). Los ejes verticales se encuentran normalizados con respecto a la población total, salvo en el caso de la población vacunada. Se incluye en linea verde la etapa de sintonización.

En esta figura, las lineas en violeta representan la evolución de la pandemia para un caso de referencia que implica no flexibilizar las restricciones de movilidad ni reabrir actividades, correspondiendo la línea llena al caso sin vacunación y la línea a trazos al caso con vacunación sobre mayores de 60 años. Este caso irreal por la extensión de las restricciones, se usa como base comparativa para los restantes. Como puede observarse, la vacunación produce un rápido decaimiento de contagios sobre este grupo. Sin embargo su efecto no es importante a nivel general porque este conjunto de personas no participa activamente en la dispersión de la enfermedad por encontrarse auto-aislado. A pesar de ello presenta la ventaja potencial de terminar con el auto-aislamiento al tiempo que reduce una fuente importante de fallecimientos.

Las restantes líneas de color de la figura representan diferentes alternativas de vacunación con clases presenciales en todos los niveles y el cese del auto-aislamiento de personas mayores de 60 años en las fechas especificadas anteriormente. En este contexto las lineas en cian corresponden al caso de vacunación sobre mayores de 60 años aún susceptibles (4,8 millones de personas), las líneas a trazos en marrón a vacunación de personas aún susceptibles en la banda de 25 a 59 años (12,1 millones de personas) y en líneas a trazos grises a la vacunación de personas aún susceptibles hasta 25 años y mayores de 60 años (22 millones de personas).

Resulta interesante notar que tanto el caso de referencia como las dos primeras estrategias de vacunación presentan una segunda ola importante. La altura de la misma es menor en el segundo caso (líneas en marrón) principalmente por el mayor número de vacunados. Paradójicamente esta alternativa alcanza un mayor número de casos fatales y de ocupación de UTI, que llega a su límite de saturación (representado en línea negra horizontal punteada). Estas consecuencias se deben a que la gente mayor no esta siendo protegida. Este análisis indica que condicionar la vacunación a los segmentos de personas mas vulnerables (mayores valores de σ_s y μ) redundaría en una menor cantidad de fallecimientos y de ocupación hospitalaria (UTI). Finalmente, la tercer estrategia de vacunación en líneas a trazos grises evita la aparición de la segunda ola a expensas de la gran cantidad de vacunas necesarias. Se logra además una extinción rápida de la epidemia, una reducida necesidad de UTI y el menor número de fallecimientos. Como puede observarse este comportamiento mejora aún el caso de referencia

donde no se produce la reapertura de actividades.

5. CONCLUSIONES

Se presentó un modelo compartimental por bandas etarias que permite predecir el comportamiento de la epidemia de COVID-19 y su sintonización para el caso argentino. Este modelo se utilizó para simular diferentes escenarios en cuanto a las intervenciones posibles y los efectos que estas finalmente producen. Estos escenarios ficticios incluyeron campañas de detección, aperturas parciales, campañas de vacunación en diferentes formatos, etc. A partir de los casos presentados se puede concluir claramente que las campañas de detección deben combinarse con otras intervenciones no farmacológicas como reducción de la movilidad y distanciamiento social, para resultar realmente efectivas. En segunda instancia, los escenarios de vacunación planteados con reapertura de algunas actividades específicas (presencialidad escolar, fin del auto aislamiento de personas mayores) demuestran que una segunda ola es inevitable si no se cuenta con un número importante de vacunas para cubrir las bandas etarias mas sensibles. En este mismo sentido, la reducción de casos fatales se logra proveyendo vacunación en orden etario decendente y en la cantidad apropiada para ir cubriendo las bandas de mayor riesgo. A pesar de que la segunda ola aparece con posterioridad a la reapertura parcial de actividades, una vacunación direccionada y suficiente permite evitar la saturación de UTI reduciendo la tasa de mortalidad con respecto a alternativas extremas que no incluyen la vacunación ni la reapertura de actividades.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se financió con los proyectos UNLP I253 y I258, CONICET PIP 0837, PICT 2017-3211 and MINCYT BSAS28 COVID FEDERAL.

REFERENCIAS

[1] N. Banholzer et. al. *Impact of non-pharmaceutical interventions on documented cases of COVID-19*. medRxiv 2020.04.16.20062141, 2020.

[2] N.T.J. Bailey et. al. *The mathematical theory of infectious diseases and its applications*. Charles Griffin & Company Ltd, 5a Crendon Street, High Wycombe, Bucks HP13 6LE, 1975.

[3] W.H. Hethcote, *The mathematics of infectious diseases*. SIAM review, Vol. 42, pp. 599-653, 2000.

[4] W.O. Kermack et. al. *Contributions to the mathematical theory of epidemics IV. Analysis of experimental epidemics of the virus disease mouse ectromelia*. Epidemiology & Infection, Vol. 37, pp. 172-187, 1937.

[5] F. Valenciaga et. al. *Modelo Dinámico para la Evaluación de Políticas Sanitarias frente a la Pandemia del COVID-19*. Anales del XXVII Congreso Argentino de Control Automático (AADECA'20).

[6] K. Leung et. al. *Social contact patterns relevant to the spread of respiratory infectious diseases in Hong Kong*. Scientific Reports, Vol. 7(1), pp. - 2045-2322, 2017.

[7] J. Mossong1 et. al. *Social Contacts and Mixing Patterns Relevant to the Spread of Infectious Diseases*. PLoS Medicine, Vol. 5 (3), pp.381-391, 2008.

[8] Database of the National Health Ministry (Argentina). `http://datos.salud.gob.ar/dataset/covid-19-casos-registrados-en-la-republica-argentina`. Accessed on: 12/11/2020.

SISTEMA SATELITAL DE RECOLECCION DE DATOS AMBIENTALES DCS

José Juárez, Gerardo Sager, Juan Pablo Ciafardini, Adrián Carlotto.

Grupo de Investigación y Desarrollo en Comunicaciones Digitales (GrIDComD)
Departamento de Electrotecnia. Calle 116 y 48 (B1900AMF) La Plata, Bs. As., Argentina.
(+54-221) 425-8911 ext. 207 - gridcomd@ing.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Los sistemas satelitales de Recolección de Datos como DCS [1], SCD [2] y ARGOS [3] están formados por un conjunto de plataformas que obtienen parámetros medioambientales de su entorno, un grupo de satélites que recolectan la información generada por las plataformas y estaciones de control terrenas que procesan dicha información para distribuirla a los usuarios.

Los satélites que utilizan los sistemas mencionados, son de órbita baja (LEO). Su función es la de recolectar la información de todas las plataformas, procesarla, almacenar los datos adquiridos y transmitirlos a la estación terrena para su distribución a los usuarios. Los satélites del sistema brasileño retransmiten la señal recibida desde las plataformas a las estaciones en Tierra donde son procesadas.

Las plataformas pueden ser, estaciones meteorológicas encargadas de mediciones ambientales de una determinada región, boyas en mares y océanos, dispositivos transmisores en animales, etc.

Una vez obtenidos los datos, las plataformas deben transmitir dicha información al satélite. Para esto, el sistema utiliza una modulación PSK binario con portadora residual. La forma de pulso es Manchester, la tasa de transmisión es de 400bps y la frecuencia de portadora de acuerdo a la Tabla I.

TABLA I: Frecuencia de Funcionamiento

Sistema	Frecuencia
DCS	401.55MHz
SCD	401.62MHz
ARGOS	401.65MHz

El protocolo en el nivel de enlace de datos usado es ALOHA con la ventaja del corrimiento en frecuencia producido por efecto Doppler. De esta manera, las plataformas transmiten la información periódicamente (con un periodo de repetición seleccionable) sin ningún tipo de sincronización entre ellas y el receptor. En este esquema puede producirse colisión y los mensajes son descartados durante el procesamiento en Tierra. El periodo de repetición utilizado es diferente para cada plataforma y es de 45 a 200 segundos según la aplicación.

A. Estructura del Mensaje

El mensaje de estos sistemas, consta de dos partes: la cabecera, donde se encuentra toda la información que ayuda al receptor a sincronizarse en portadora, símbolo y trama; y el cuerpo donde se encuentra la información propiamente dicha. En

la Tabla II puede verse la disposición de los campos del mensaje así como el número de bits de los mismos.

La cabecera se compone de 160 ms de transmisión de portadora, usados para obtener el sincronismo de portadora sin modular, 15 bits de valor uno que ayudan en el sincronismo de bit y 8 bits usados para el sincronismo de trama.

El cuerpo del mensaje comienza con el bit de inicio, seguido por el campo de largo del mensaje, el identificador de plataforma, el campo de datos y el checksum. Como puede verse los datos del mensaje pueden variar entre 32 y 256 bits (4 y 32 bytes)

TABLA II: Estructura del Mensaje

CABECERA			CUERPO				
160 ms de Portadora	Sincronismo de Bit	Trama	Inicio	Largo	DCP IP	Datos	Checksum
	15	8	1	4	20	32-256	8

COMPONENTES DEL SISTEMA DCS DESARROLLADOS POR EL GRUPO

A. *Receptor DCS de vuelo*

El GriDCOMD ha desarrollado diferentes componentes del sistema DCS para la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CoNAE). Uno de los más importantes es el Receptor DCS incluido en la misión SAC-D/AQUARIUS compatibles con los tres sistemas descritos anteriormente. El grupo realizó el desarrollo, integración y ensayos de dicho receptor, como así también la puesta en marcha y evaluación durante la totalidad de la misión. En la Fig. 1 se muestra las diferentes componentes del modelo de vuelo, antes de su integración en sala limpia.

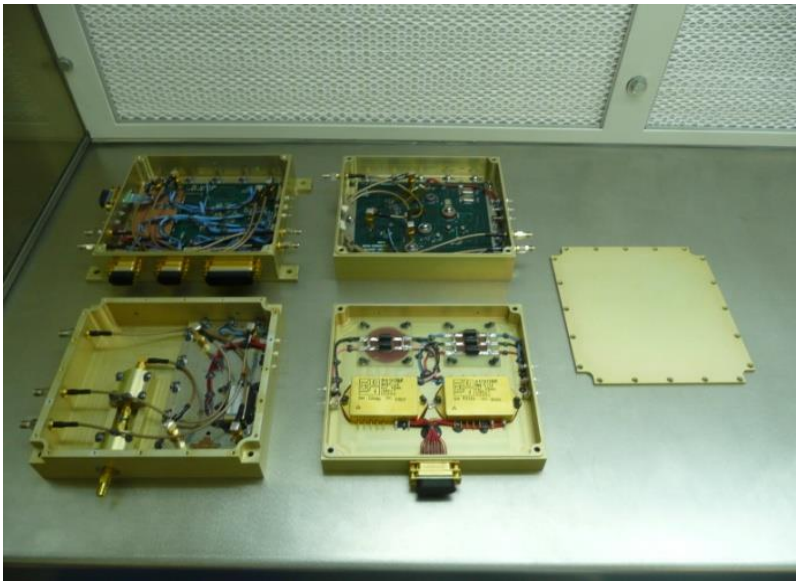


Fig. 1. Receptor DCS a bordo del SAC-D/Aquarius

B. *Transmisor satelital PTT*

El transmisor (PTT – Platform Transmitter Terminal) fue utilizado durante el servicio del receptor DCS a bordo del SAC-D [4], su frecuencia de operación es 401.55MHz y posee un período de repetición por defecto de 90 s. Ambos parámetros son modificables para

adaptarse al sistema deseado (DCS, SDC, ARGOS). El transmisor recibe los datos desde el sistema de adquisición a través de una interfaz UART, los almacena internamente y los transmite cuando corresponda siguiendo la estructura del mensaje presentada anteriormente. También se diseñó la estrategia de toma de datos de ciencia, para un uso eficiente en la transmisión de datos durante la pasada del satélite. El modelo de PTT desarrollado se muestra en la Fig.2.



Fig.2. PTT multisistema

Para la integración del transmisor en una plataforma de recolección de datos, se diseñó un modelo de antena, en la banda meteorológica de los 401MHz. El diseño resultó en una antena hélice cuadrifilar cónica que genera un diagrama de radiación cosenoidal, con alta pureza de polarización circular [5].

C. *Sistema de homologación de PTT*

Debido a que las plataformas comparten el canal de comunicaciones y su uso es asincrónico, el buen funcionamiento del sistema es dependiente del buen funcionamiento de cada uno de sus componentes. Para medir los diferentes parámetros de transmisión de un dado diseño de PTT, se desarrolló un sistema de homologación para validar el correcto funcionamiento del transmisor según los requerimientos solicitados en los estándares de CNES [6]. El sistema de homologación cuenta con un dispositivo de radio frecuencia y un software de PC (multiplataforma), para realizar en tiempo real y en cualquier lugar una medición de las características deseadas de la señal. En la tabla III se muestras los parámetros de interés y sus rangos de validación.

TABLA III: Parámetros de un PTT a homologar

Parámetros medidos durante la certificación	Especificación	Precisión de las mediciones
Potencia		
Potencia de salida transmitida	≤34.8dBm (3W)	±0.2 dB
Variación de potencia	≤1 dB	±0.2 dB
Tiempo de Subida y bajada	≤5 ms	± 20 us
Frecuencia		
Portadora	ARGOS 401.630 MHz ≤fo≤ 401.680 MHz	$\pm 1.10^{-8}$ Hz
	DCS 401.540 MHz ≤fo≤ 401.560 MHz	$\pm 1.10^{-8}$ Hz
	SCD 401.65 MHz	$\pm 1.10^{-8}$ Hz

En la Fig. 3 se muestra el sistema homologación en funcionamiento y en la Fig. 4 se muestran algunos resultados obtenidos del ensayo de una plataforma comercial.

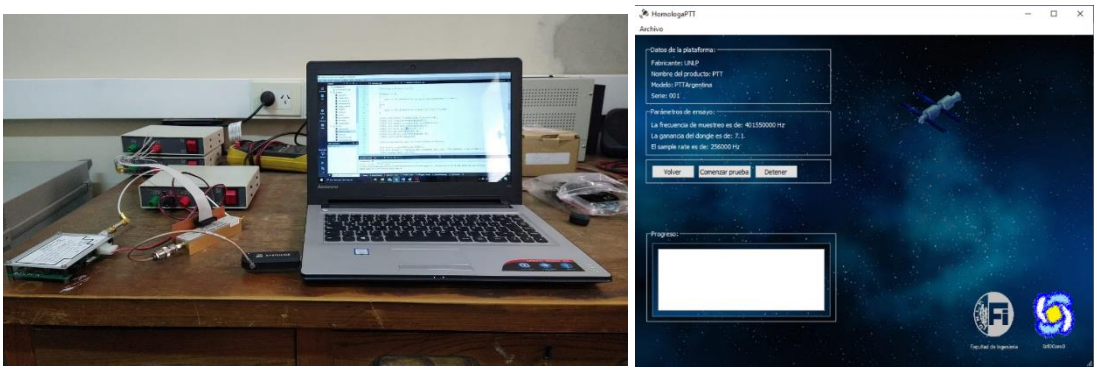


Fig.3. Sistema de Homologación de PTT

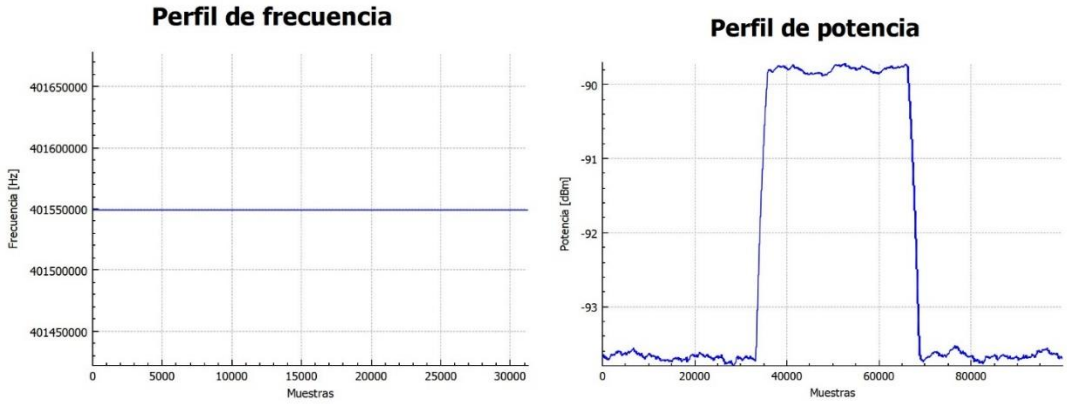


Fig.4. Ejemplo de resultados obtenidos con el Sistema de Homologación de un PTT

D. ***Adquisidor de Datos***

Este componente se desarrolló en base a la plataforma EDU-CIAA (Computadora Industrial Abierta Argentina Educativa) [7]. La recolección de datos ambientales se realiza por medio de una estación meteorológica comercial marca DAVIS Weather Monitor II. La misma dispone de los siguientes sensores: Sensor de Temperatura interior y exterior, Anemómetro, Sensor de Humedad, relativa, Pluviómetro y Sensor de presión barométrica. Dado que el sistema debe ser autónomo, generalmente instalado en lugares de difícil acceso y no existe la posibilidad de mantenimiento, se incorporan un sistema de almacenamiento masivo (tarjeta SD) y una interfaz inalámbrica (WiFi) en el caso que haya conexión disponible, para visualización de los datos en plataformas de servicios IoT.

El funcionamiento del conjunto es el siguiente: cada periodo de muestreo (Tm), el adquisidor de datos obtiene las distintas variables climáticas de la estación meteorológica, procesa y completa la estructura interna de datos ambientales con el agregado de las variables de telemetría, la fecha y la hora del sistema. A continuación son enviados vía WiFi y almacenados en la SD, respectivamente. De acuerdo al periodo de observación de ciencia (Tobs) el data logger procesa los datos obtenidos y genera el mensaje DCS. Cada mensaje es transmitido, de a uno por vez, por el transmisor PTT cada tiempo de repetición (Trep) determinado para ese transmisor.

El prototipo bajo ensayo se muestra en la Fig. 5a, donde se visualiza, el sistema completo en funcionamiento en la terraza del Departamento de Electrotecnia, Facultad

de Ingeniería de Universidad Nacional de La Plata. El sistema está formado por el adquisidor de datos y los distintos módulos, los sensores de la estación meteorológica y un panel solar de 6V para la recarga de la batería.

En la Fig.5b se muestra el prototipo del Sistema implementado en donde se destaca la plataforma EDU-CIAA, los conectores de las diferentes interfaces y el transmisor PTT.

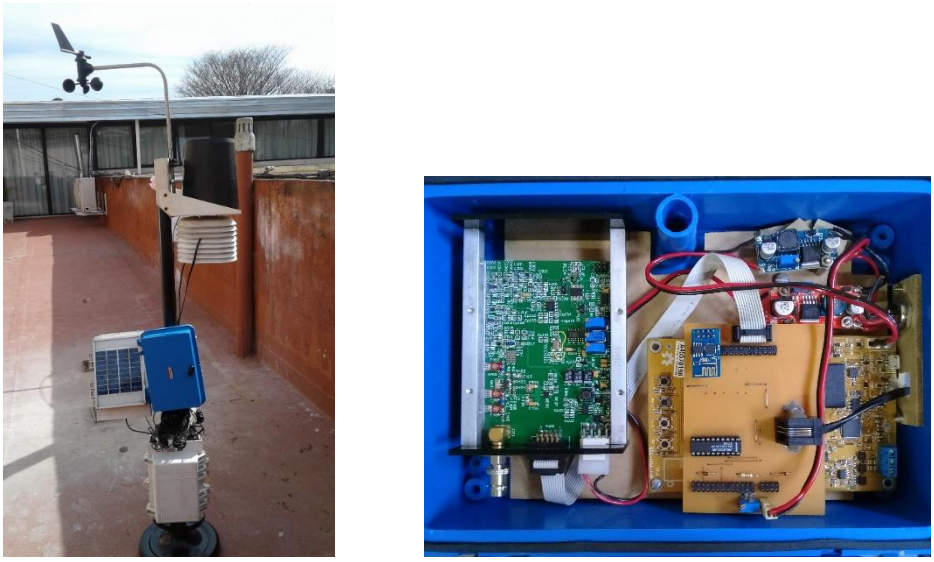


Fig.5a y 5b. Sistema de adquisición DCS

E. ***Receptor DCS portátil***

Para ensayar la funcionalidad completa de transmisión y recepción de mensajes de ciencia, se desarrolló un receptor SDR, implementado en una PC con un Front-end de RF, cuya función es recibir las transmisiones de las plataformas satelitales sin necesidad de contar con el servicio satelital que tiene un costo, por ejemplo ARGOS [8]. En la Fig. 6 se observa una pantalla del receptor SDR recibiendo los mensajes de ciencia transmitidos por el sistema implementado en el punto anterior.

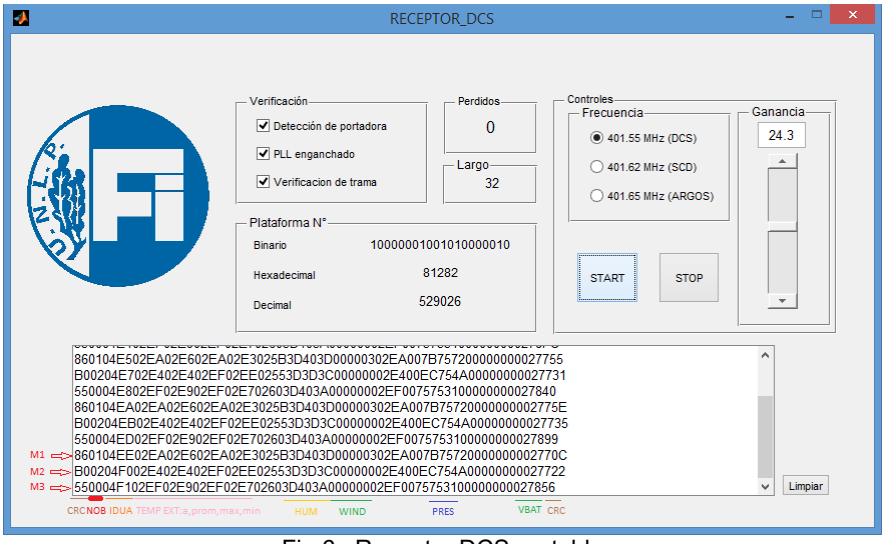


Fig.6. Receptor DCS portable

F. ***Sistema de validación de Receptores DCS***

Para validar y caracterizar los Receptores DCS desarrollados contamos con un sistema que puede generar una señal DCS para aplicar a la entrada del receptor en frecuencia

intermedia con distintas posibilidades: fijando una determinada relación señal ruido, solo señal o solo ruido. De esta manera la validación consiste en hacer funcionar el receptor y obtener el mensaje transmitido bajo distintas condiciones de operación [9]. En la Fig. 7a se muestra un receptor DCS bajo ensayo donde se visualizan los elementos utilizados. En la Fig. 7b se muestra la validación del sincronismo de bit y trama mediante la visualización del diagrama de ojos.

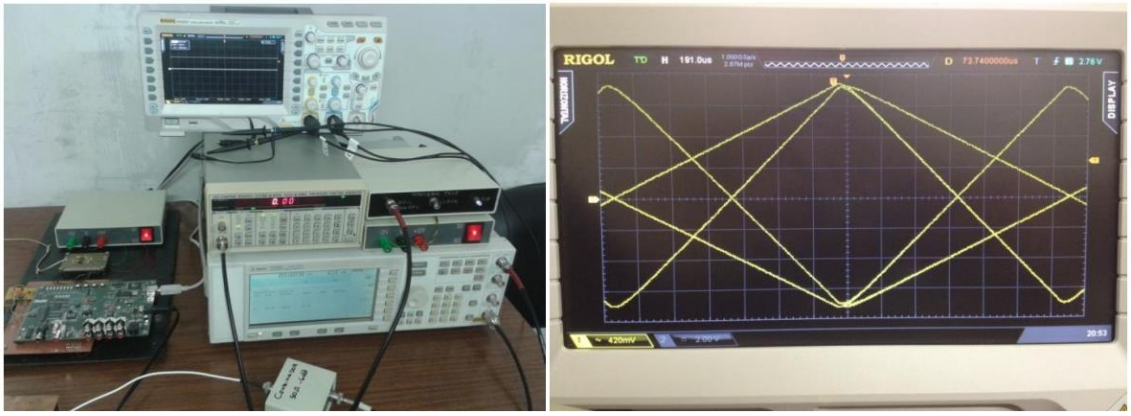


Fig.7a y 7b. Sistema de ensayos de Receptores DCS

CONCLUSIONES

Se presentaron los diferentes desarrollos del grupo que integran los sistemas de recolección de datos satelitales. Se destaca la utilización del sistema por usuarios de ciencia en territorio antártico argentino. Actualmente el grupo se encuentra desarrollando nuevos diseños para transmisores definidos por software, de manera de poder seguir la evolución de los sistemas DCS a los sistemas de Internet de las Cosas satelitales (IoT). También el grupo está trabajando en el receptor para la misión satelital de la CoNAE, SABIAMar.

REFERENCIAS

[1] J. A. Carlotto, J. M. Juárez, J. I. Fernández Michelli, G. Sager, H. Lorente. Sistema de Recolección de Datos Satelital. Implementación del Receptor Utilizando un DSP. XV Workshop Iberchip. Buenos Aires, Argentina 2009.
[2] Yamaguti W., et al, “Sistema Brasileiro de Dados Ambientais: Status e Planos Futuros”, XIV Simpósio Brasileiro de Sensoramento Remoto. Natal, Brasil, abril 2009.
[3] Ortega C., “Argos Second and Third Generations: Enhancements finely tuned to oceanographic applications”, Oceans ’98. Conference Proceedings, 1998.
[4] G. Sager, H. Lorente, M. Hernández, J. Juárez, A. Carlotto, Plataforma Terminal Transmisora para Sistema DCS, 4tas Jornadas ITE, FI,UNLP, 2017.
[5] J. P. Ciafardini, J. Juárez, A. Carlotto: “Diseño preliminar de antena para plataformas de sistemas DCS satelitales”, 11vo Congreso Argentino de Tecnología Espacial (CATE 2021). abril 2021.
[6] P. Rosito, C. Botek J. Juárez, A. Carlotto: “Desarrollo e Implementación de un sistema de Homologación de PTT para los sistemas DCS con aplicación multiplataforma”, Trabajos Finales de Carrera Ingeniería Electrónica. 2019 y 2020. FI-UNLP.
[7] (2018) CIAA website. [Online]. Available: http://www.proyecto-ciaa.com.ar/
[8] N. Baciredo, J. Juárez, A. Carlotto. Receptor portátil para Transmisiones del Sistema DCS,. Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), 2016 IEEE. Buenos Aires, 15-17 Junio 2016.
[9] J. Iñigo, J. Juárez, A. Carlotto, G. Sager, Implementación de la etapa de procesamiento digital de un receptor para el sistema de recolección de datos ambientales, 4ras Jornadas ITE, FI,UNLP, 2015.

ANÁLISIS DE RESPUESTA EN FRECUENCIA COMO HERRAMIENTA PARA EL DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

Mayora Hernán, Álvarez Raúl, Calo Emilio, Catalano Leonardo, Morcelle del Valle Pablo

Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos (IITREE-LAT), Facultad de Ingeniería, UNLP. Calle 48 y 116, 1900 La Plata.

E-mail de consultas: hernan.mayora@iitree-unlp.org.ar

Palabras clave: diagnóstico, distribución, ensayos, frecuencia, transformador, SFRA

Introducción

Los transformadores de distribución utilizados en la vía pública para la alimentación de los usuarios se ven fuertemente afectados durante fallas en las redes de baja tensión. Durante su vida útil, es de esperar que estos transformadores sobrevivan a una serie de cortocircuitos sin dañarse, pero en caso de producirse una deformación o desplazamiento significativo de los componentes internos de la máquina, la probabilidad de sobrevivir a más cortocircuitos se reduce en gran medida. Estos defectos mecánicos no causan una condición de falla inmediata en el transformador, pero son capaces de generar stress electromagnético localizado que puede, a corto o mediano plazo, causar cortes no planificados.

Dada la necesidad de diagnosticar rápidamente los daños y reponer el servicio, es evidente que un conjunto completo de pruebas, tal como se hace en transformadores de potencia (aquellos de alta tensión y gran potencia), no es una opción. Para evitar este problema, es importante que las empresas de distribución de energía eléctrica cuenten con una herramienta eficiente para evaluar la condición de los transformadores de distribución y administrar los recursos de reparación y reemplazo. En la Figura 1 pueden observarse los transformadores de potencia y de distribución, y su ubicación en el sistema eléctrico.

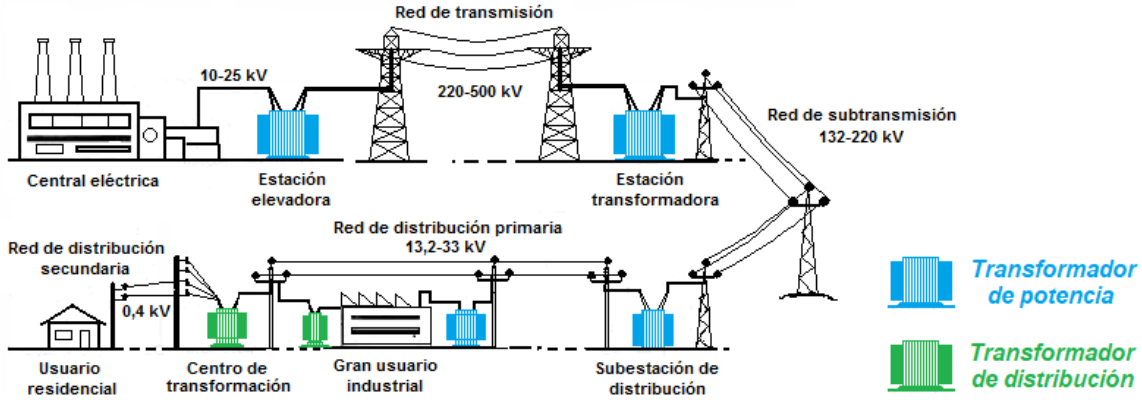


Figura 1. Transformadores de potencia y de distribución en un sistema eléctrico

Una de las técnicas más desarrolladas en los últimos años, principalmente para transformadores de potencia, es el Análisis de Respuesta de Frecuencia (SFRA, por sus siglas en inglés), reconocido como una prueba eléctrica avanzada [1] y que permite una evaluación integral del estado mecánico de la unidad.

El objetivo principal de este trabajo es presentar la prueba de SFRA como una alternativa para evaluar rápidamente la condición de transformadores de distribución. Actualmente, el mayor desafío con esta prueba es la interpretación de los resultados, que resulta una tarea compleja y que requiere de gran conocimiento por parte del personal que realiza el diagnóstico. En búsqueda de una solución, en el Laboratorio de Alta Tensión del IITREE, se

En este trabajo se presentan resultados de las mediciones para cada tipo de falla en este transformador, de manera que el personal de mantenimiento de las distribuidoras cuente con mayor experiencia a la hora de utilizar el SFRA como herramienta de diagnóstico.

Desarrollo

Fundamentos del SFRA

Para realizar una medición de SFRA, se aplica una tensión de frecuencia variable a un terminal del transformador respecto de tierra. Se mide la tensión en este terminal de entrada (Us) y, al mismo tiempo, se mide otra tensión (Ur) en un segundo terminal del transformador respecto de tierra (ver *Tipos de prueba*). La magnitud del SFRA es el cociente entre la señal de tensión resultante (Ur) y la señal de tensión aplicada (Us) en función de la frecuencia (generalmente presentada en dB en un diagrama de Bode) [2].

Para evaluar los resultados del SFRA, la medición se compara con una medición de referencia mediante inspección visual en una gráfica. La medición de referencia puede ser obtenida de tres maneras diferentes [3]:

- Mediciones de SFRA realizadas anteriormente en el mismo transformador;
- Mediciones obtenidas de transformadores de diseño idéntico (gemelos);
- Mediciones en extremidades o fases probadas por separado

Tipos de prueba

Los principales tipos de prueba SFRA según [3] son cuatro. Cada uno permite evaluar diferentes elementos del transformador. Se presentan en las Figuras 2 a 5.

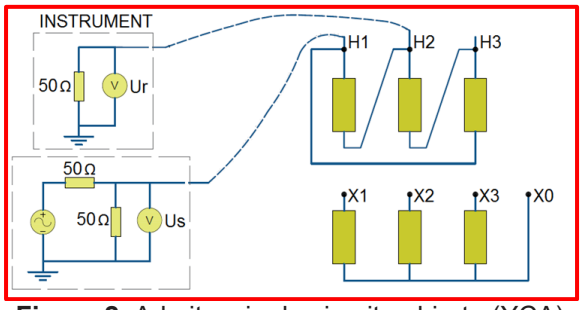


Figura 2. Admitancia de circuito abierto (YCA)

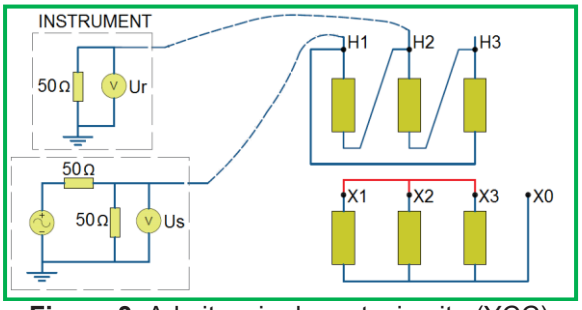


Figura 3. Admitancia de cortocircuito (YCC)

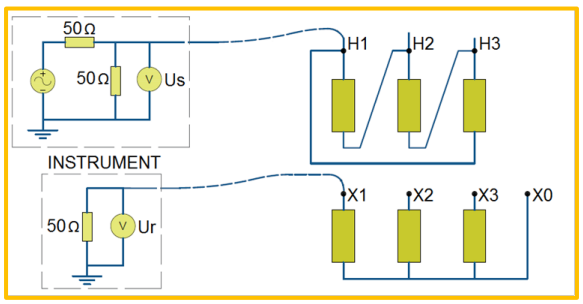


Figura 4. Interdevanado capacitivo (IC)

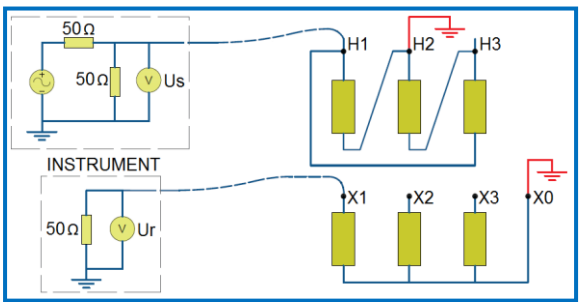


Figura 5. Interdevanado inductivo (IL)

Transformador utilizado en las mediciones experimentales

El transformador utilizado para generar artificialmente defectos mecánicos es una unidad trifásica de 13,2/0,4 kV - 160 kVA - Dyn11. Su diseño es similar a los transformadores utilizados en los sistemas de distribución de América del Sur y Europa, solo que en este caso sin cuba metálica y sin aceite. El mismo se presenta en la Figura 6. Los cuatro tipos de prueba de SFRA se realizaron en cada fase y para distintos defectos típicos.

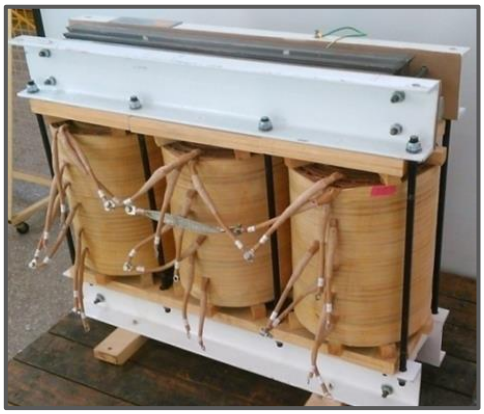


Figura 6. Transformador utilizado para generar fallas artificialmente

Una primera medición se realizó en una condición del transformador considerada como "estado sano", la cual se tomó como referencia para evaluar las desviaciones producidas luego de las fallas.

Las fallas generadas artificialmente fueron:

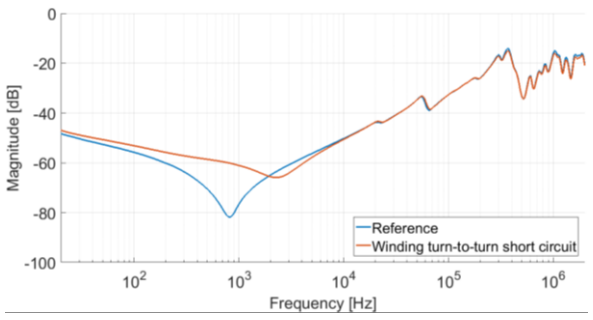
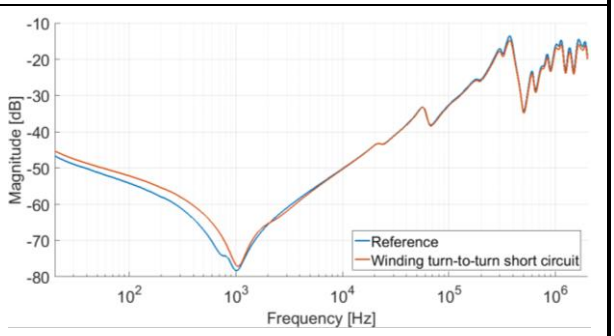
1. Cortocircuito entre espiras del bobinado
2. Bobinado a circuito abierto
3. Variación en la reluctancia del núcleo magnético
4. Núcleo magnético con múltiples defectos a tierra
5. Deformación del bobinado

A continuación, se presentan los resultados más significativos.

1. *Cortocircuito entre espiras del bobinado*

Esta es una de las fallas más comunes que ocurren en los transformadores de distribución. Este defecto fue forzado cortocircuitando una única espira en el devanado de alta tensión de la columna central (H3-H2). En la Tabla I se presentan los resultados.

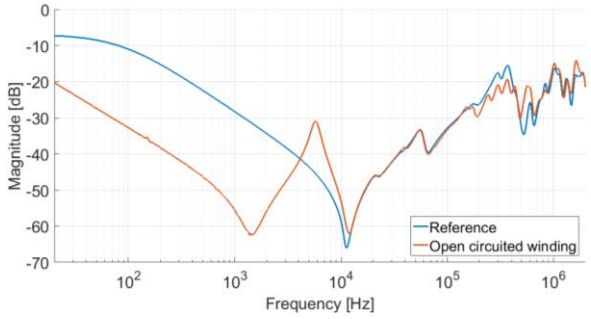
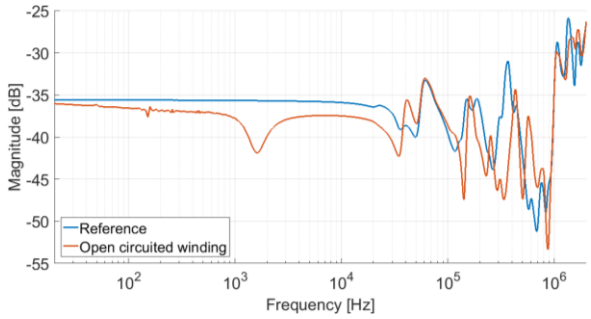
Tabla I

<table>
<tr><th colspan="2">Foto de la falla</th><th colspan="2">Resultados medición YCA (H3-H2)</th></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><th colspan="2">Resumen de resultados</th><th colspan="2">Resultados medición YCA (H2-H1)</th></tr>
<tr><td>YCA</td><td>Cambios notables en H3-H2 (fase fallada). Menores cambios en el resto de las fases</td><td colspan="2" rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>YCC</td><td>Sin desviaciones significativas</td></tr>
<tr><td>IC</td><td>Sin desviaciones significativas</td></tr>
<tr><td>IL</td><td>Sin desviaciones significativas</td></tr>
</table>

2. *Bobinado a circuito abierto*

Esta es una falla que puede ser causada luego de un daño muy extremo. Fue generada abriendo el bobinado en la fase central (H3-H2). En la Tabla II se presentan los resultados.

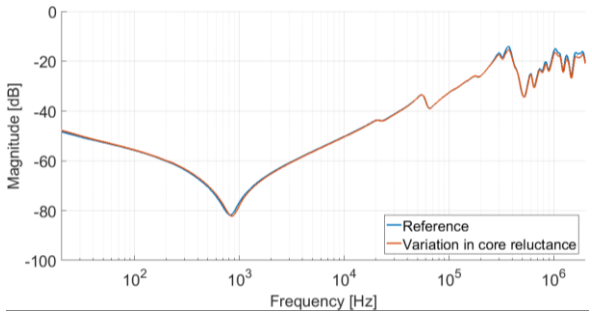
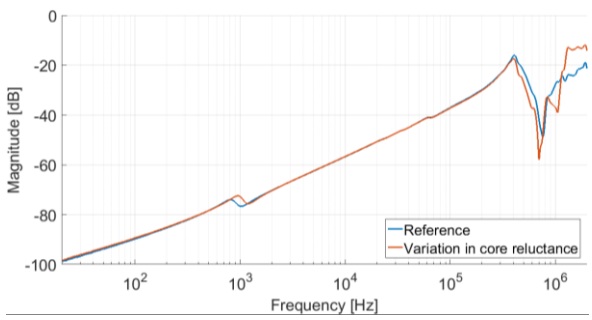
Tabla II

<table>
<tr><th colspan="2">Foto de la falla</th><th colspan="2">Resultados medición YCC (H3-H2)</th></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><th colspan="2">Resumen de resultados</th><th colspan="2">Resultados medición IL (H2-X2) - H3-X0 a tierra</th></tr>
<tr><td>YCA</td><td>Pequeños cambios en todos los bobinados</td><td colspan="2" rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>YCC</td><td>Cambios significativos en todos los bobinados, principalmente en H2-H3</td></tr>
<tr><td>IC</td><td>Sin desviaciones significativas</td></tr>
<tr><td>IL</td><td>Cambios significativos solo en la fase afectada</td></tr>
</table>

3. *Variación en la reluctancia del núcleo*

Este defecto se generó aumentando la sección del núcleo magnético, colocando una pieza de material magnético sobre el transformador. En la Tabla III se presentan los resultados.

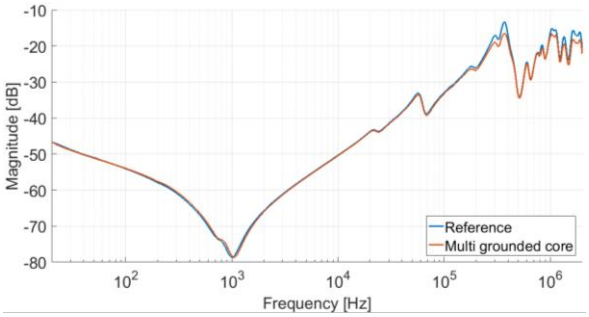
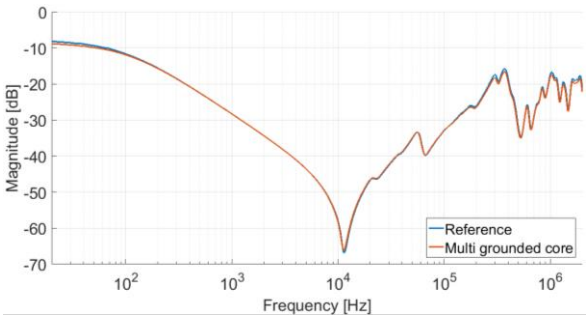
Tabla III

<table>
<tr><th colspan="2">Foto de la falla</th><th colspan="2">Resultados medición YCA (H3-H2)</th></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><th colspan="2">Resumen de resultados</th><th colspan="2">Resultados medición IC (H1-X1)</th></tr>
<tr><td>YCA</td><td>Pequeños cambios en todos los bobinados</td><td colspan="2" rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>YCC</td><td>Sin desviaciones significativas</td></tr>
<tr><td>IC</td><td>Variaciones en algunas frecuencias de resonancia</td></tr>
<tr><td>IL</td><td>Sin desviaciones significativas</td></tr>
</table>

4. Núcleo magnético con múltiples defectos a tierra

Este defecto se obtuvo colocando una puesta a tierra adicional en contacto con las laminaciones del núcleo. En la Tabla IV se presentan los resultados.

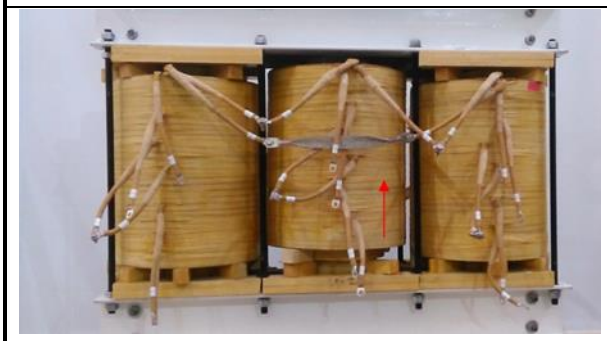
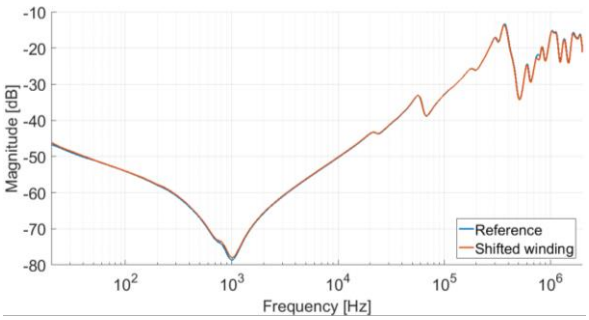
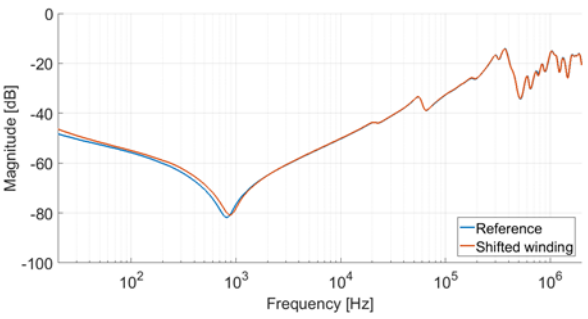
Tabla IV

Foto de la falla	Resultados medición YCA (H1-H3)
	
Resumen de resultados	**Resultados medición YCC (H3-H2)**
YCA Pequeños cambios en amplitud	
YCC Pequeños cambios en amplitud	
IC Sin desviaciones significativas	
IL Sin desviaciones significativas	

5. Deformación del bobinado

Para esta falla se retiraron las maderas de fijación y se desplazó la columna central del bobinado 3 cm hacia arriba (H3-H2). En la Tabla V se presentan los resultados.

Tabla V

Foto de la falla	Resultados medición YCA (H1-H3)
	
Resumen de resultados	**Resultados medición YCA (H3 – H2)**
YCA Variación de la resonancia en H3-H2. Menores cambios en el resto de las fases	
YCC Sin desviaciones significativas	
IC Sin desviaciones significativas	
IL Sin desviaciones significativas	

Discusión

Esta prueba resulta una herramienta con gran potencial para la evaluación del estado de los transformadores luego de fallas en las redes de media y baja tensión. Como se pudo observar, la técnica de SFRA es capaz de detectar una amplia variedad de defectos sin la necesidad de invertir demasiado tiempo y recursos en realizar muchas pruebas. Es posible identificar el componente dañado y tomar la decisión de reemplazar o reenergizar la unidad.

La prueba SFRA tiene la ventaja de ser simple y segura, ya que los valores de tensión utilizados no superan las unidades de volt, característica importante cuando se realizan pruebas en áreas transitables. Asimismo, es importante considerar que esta prueba es fácil de realizar en transformadores de distribución debido a que tienen un tamaño menor a los transformadores de potencia, y no se necesitan escaleras ni grúas para efectuar las conexiones (a excepción de aquellos instalados sobre plataformas en altura).

Para aprovechar al máximo los beneficios de SFRA, resulta necesario capacitar al personal de las distribuidoras para la realización de estas pruebas, y que las mismas generen una base de datos con el fin de mejorar la experiencia en este tipo de ensayos. En el Laboratorio de Alta Tensión del IITREE se obtuvieron los siguientes resultados, que pueden ser utilizados como punto de partida:

Tipo de falla	Tipo de prueba capaz de detectarla
Cortocircuito entre espiras	**YCA**
Bobinado a circuito abierto	**YCA – YCC – IL**
Variación en reluctancia del núcleo	**YCA – IC**
Núcleo con múltiples defectos a tierra	**YCA – YCC**
Deformación de bobinado	**YCA**

Conclusiones

a) La prueba de SFRA es una herramienta útil para evaluar rápidamente la integridad de transformadores de distribución después de fallas en redes de baja tensión. Es capaz de detectar una amplia variedad de defectos utilizando una sola técnica.
b) Entendiendo las respuestas típicas, es posible discriminar el tipo de falla e incluso estimar su localización.
c) Como se demostró, el tipo de prueba de admitancia de circuito abierto (YCA) es el más sensible para la mayoría de los defectos por lo que, si existen limitaciones de tiempo podría ser conveniente limitarse a realizar únicamente esta medición en las tres fases.
d) En los sistemas de distribución, donde las empresas eléctricas tienen varios transformadores de idéntico diseño, el ensayo de SFRA puede solicitarse como prueba de tipo y utilizarse como referencia para todas estas unidades. Esto representaría una ventaja importante, ya que no se necesita una referencia por cada unidad.
e) En redes con altas tasas de falla de transformadores, la prueba SFRA podría identificar los puntos débiles del diseño y contribuir a implementar mejoras o acciones correctivas.

Aunque en este trabajo se mostraron algunos criterios de interpretación de los resultados de la prueba, la experiencia del operador es esencial para obtener resultados fiables.

BIBLIOGRAFÍA

[1] TB CIGRE 445 WG A2.34, “Guide for Transformer Maintenance”, February 2011.
[2] TB CIGRE 342 WG A2.26, “Mechanical-condition assessment of transformer windings using frequency response analysis (FRA)”, April 2008.
[3] IEC 60076-18-2012: “Power Transformers - Measurement of Frequency Response”.

SISTEMA DE TELEMEDICINA PARA MONITOREO Y CONTROL DE GLUCEMIA EN PACIENTES HOSPITALIZADOS Y/O AISLADOS CON COVID-19*

Fabricio Garelli[1], Leandro Mendoza[1], Delfina Arambarri[1], Nicolás Rosales[1], Emilia Fushimi[1], Cecilia Serafini[1], Hernán De Battista[1], Ricardo Sánchez Peña[2]
GCA, LEICI (UNLP-CONICET), Facultad de Ingeniería, UNLP[1]
Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA) [2]
Email: nicolas.rosales@ing.unlp.edu.ar

Introducción

En este trabajo se presenta el desarrollo tecnológico y el funcionamiento de una plataforma para el monitoreo remoto y continuo de la glucemia en pacientes aislados u hospitalizados. La plataforma tiene su origen en un desarrollo para ensayos clínicos de sistemas de Páncreas Artificial (PA), denominado InsuMate, que permite la conexión de forma inalámbrica entre un teléfono inteligente, sensores continuos de glucosa y bombas de infusión continua de insulina, como así también ejecutar en tiempo real un algoritmo de control glucémico. Como herramienta de supervisión, y en el contexto de la pandemia de COVID-19, se desarrolló un módulo de Monitoreo Remoto (MR) que permite visualizar en cualquier navegador la excursión glucémica, suministro de insulina, estadísticas, entre otras herramientas de diagnóstico. Dado que los sensores subcutáneos de glucosa fueron aprobados para su uso hospitalario recién durante la pandemia, la plataforma desarrollada constituye una de las primeras herramientas de monitoreo compatibles con múltiples sensores, múltiples terapias (insulina endovenosa, subcutánea, múltiples dosis) y para múltiples pacientes. Al estar basada en desarrollos de código abierto, la plataforma cuenta con la versatilidad necesaria para adaptarse a los requerimientos de diferentes tipos de estudios y/o centros médicos. En particular, en el marco de la pandemia de Covid-19, la plataforma está permitiendo monitorear y estabilizar metabólicamente a pacientes en unidades de terapia intensiva COVID-19 en hospitales de nuestro país.

El grupo de trabajo al que pertenecen los autores inició la línea de investigación en el control y la tecnología para la diabetes a finales de 2011, a partir de una estancia del profesor Garelli en la Universidad de Girona, España. Desde entonces se propusieron algoritmos de control de lazo abierto, lazo cerrado y variantes adaptivas. En 2016 y 2017, luego de la aprobación de ANMAT, se logró realizar en el Hospital Italiano de Buenos Aires el primer ensayo clínico de un PA en nuestro país. En la segunda fase del ensayo se evaluó un algoritmo puramente argentino y sin requerimiento de conteo de carbohidratos denominado ARG [1]. Este ensayo fue realizado utilizando la plataforma de hardware más avanzada hasta la fecha, denominada Diabetes Assistant (DiAs), propiedad la Universidad de Virginia (UVA). La posterior falta de disponibilidad de la plataforma DiAs impidió, entre otras cosas, la realización de un segundo ensayo clínico del algoritmo ARG programado para la población pediátrica junto con el Hospital Garrahan.

A raíz de ello, el grupo comenzó a trabajar en el desarrollo de una plataforma de hardware y software propia. Se buscó que la plataforma fuese de código abierto para que los pacientes diabéticos puedan disponer de la misma una vez probados y aprobados los algoritmos de control. De esta manera nace InsuMate Luego de varios meses de desarrollo, programación y pruebas de simulación, se comenzaron las pruebas preliminares. De esta manera, entre 2019 y 2020, la conectividad con sensores y bombas fue validada experimentalmente en 6 pacientes durante aproximadamente 1300 horas, arrojando resultados del orden de los obtenidos en ensayos anteriores con la plataforma DiAs, o superiores. A su vez, se implementaron distintas versiones del controlador ARG y se contrastaron con su implementación en MATLAB y con los resultados de ensayos clínicos en la plataforma DiAs, obteniendo también resultados muy satisfactorios.

*trabajo basado en el artículo presentado para la revista In-Genium vol 1 de la Academia de Ingeniería de la provincia de Buenos Aires.

palabras clave: monitoreo remoto, glucemia, covid-19, telemedicina, diabetes



Figura 1 – Componentes principales del sistema InsuMate.

Si bien el siguiente paso era la realización de los primeros ensayos clínicos de PA ambulatorios con la plataforma InsuMate en abril de 2020, los mismos se suspendieron por el inicio del aislamiento social preventivo obligatorio. En ese contexto, los médicos de los hospitales con los que se venía trabajando plantearon la necesidad del monitoreo remoto de pacientes críticos con COVID, dada la imposibilidad de indicarles insulina a pacientes que la requerían por no poder hacerle los controles de glucemia capilar (se deben realizar cada una hora máximo) debido a las restricciones de ingreso a las salas. Luego, ante la aprobación en mayo de 2020 del uso de los CGM en pacientes críticos, se reorientó el proyecto de PA hacia el monitoreo de pacientes COVID tanto aislados como en salas de terapia intensiva (UTI), a fin de mejorar el control de los pacientes en áreas restringidas y de reducir la exposición del personal de salud. En este marco, se presentó un proyecto al Programa de Articulación Federal COVID-19 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación, el cual fue adjudicado, y se desarrolló un nuevo módulo de monitoreo continuo y diagnóstico para múltiples pacientes y múltiples sensores (de distintas marcas), el cual se encuentra operativo y ya ha efectuado más de 1000hs de monitoreo en pacientes en UTI-COVID.

Desarrollo y discusión

En esta sección se describen los distintos módulos del sistema desarrollado para el control glucémico de personas con diabetes y del sistema de monitoreo continuo a distancia.

El sistema InsuMate es una marca registrada de la UNLP [2]. En su versión completa está compuesto por una aplicación móvil alojada en un teléfono inteligente, donde a su vez reside el algoritmo de control, un sensor de glucosa subcutáneo o CGM y una bomba de insulina. A esto se debe adicionar las aplicaciones necesarias para la conexión de los dispositivos: Ruffy en el caso de la bomba AccuChek Spirit Combo y xDrip+ para la transmisión de las medidas de glucosa. La transmisión de datos hacia la nube se efectúa primero hacia el utilitario NightScout, software de código abierto desarrollado bajo la consigna DIY (“Do It Yourself”) [3], y luego hacia un servidor y sitio web propio en el dominio registrado *www.insumate.com.ar*. La Figura 1 muestra esquemáticamente a los principales componentes de la plataforma.

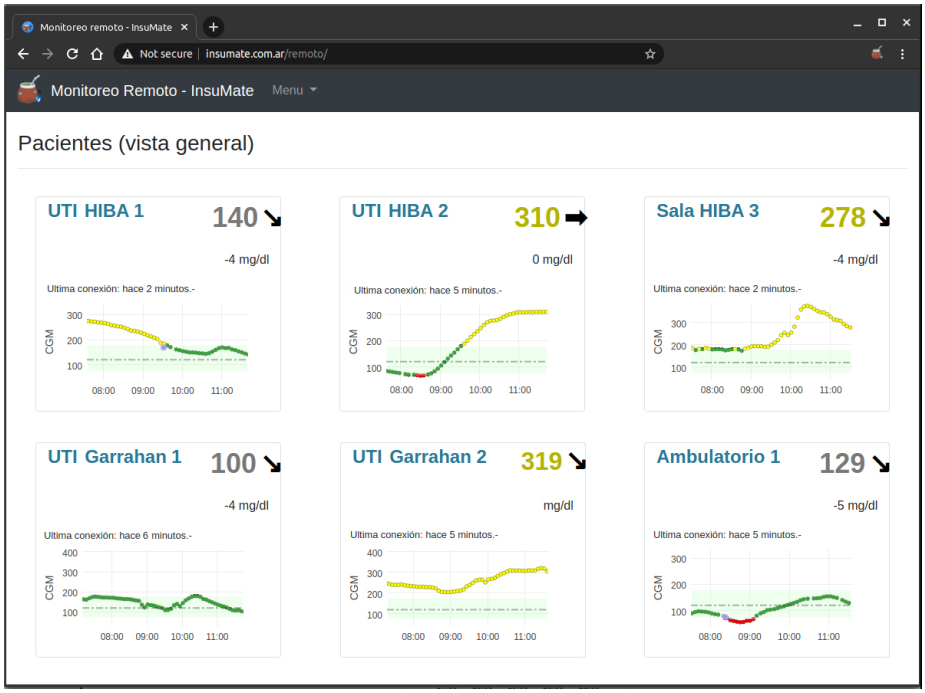


Figura 2 - Vista general del Monitoreo Remoto.

InsuMate-App está basada en el sistema AndroidAPS [4], corre en dispositivos móviles con sistema operativo Android (versión 7.1 en adelante), y se programó en lenguaje Java. La misma fue adaptada y programada para fines de investigación en estrategias de control de PA. Permite ejecutar un algoritmo de control con tiempo de muestreo y actuación de 5 minutos, y cuenta con una interfaz gráfica acorde para la visualización de variables y datos de interés durante ensayos clínicos. En particular, en la pantalla principal se grafica la evolución temporal no solo de la glucemia, sino también de la infusión continua de insulina y de la insulina activa o Insulina a Bordo (IOB), una variable clave en los sistemas de PA para evitar eventos de hipoglucemia inducidos por el exceso de insulina en el organismo. A su vez, brinda la posibilidad de ver en detalle las gráficas y desplazarse temporalmente, y presenta otros datos relevantes para las pruebas clínicas: el valor actual de glucemia, su tendencia y su tasa de cambio, el valor actual de IOB, el modo del control glucémico, el nombre (perfil) del paciente asociado a sus parámetros clínicos, el rango deseado de glucemia y botones configurables para la carga de ingestas, notas y calibraciones del sensor.

InsuMate-MR es un módulo del sistema InsuMate que puede utilizarse independientemente de la aplicación en Android empleada tanto para terapia MDI (múltiples inyecciones diarias) como para lazo abierto y cerrado. La conexión del CGM con el sitio de monitoreo se hace a través de la aplicación móvil xDrip+, aunque puede realizarse con otras aplicaciones específicas, como por ejemplo Tomato, una aplicación destinada al sensor NFC Freestyle Libre de Abbot junto al adaptador Bluetooth MiaoMiao. En el caso de usar únicamente el módulo de monitoreo para hacer un seguimiento de la glucemia, en los dispositivos de lectura (notebook, celular de médico o familiar, etc.) se puede la evolución de la glucemia, incluyendo la medida actual con su tendencia y tasa de cambio, la indicación del tiempo de la ´última medida recibida para verificar la conexión, las calibraciones realizadas y una tabla de métricas por día. Si además se utiliza la aplicación móvil de InsuMate, se puede monitorear el registro de ingestas, la infusión de insulina y su concentración en el organismo, el modo de funcionamiento del sistema, entre otros datos de interés.

El sistema de MR está alojado en un servidor web (*www.insumate.com.ar/remoto*) que permite operar hasta 40 individuos conectados en simultáneo, accesible mediante usuario y

contraseña por cada centro de salud. En la Figura 2 se visualiza un ejemplo de la pantalla principal para 6 pacientes en simultáneo (cuatro de ellos en UTIs-COVID, uno en sala y uno ambulatorio). Se encuentra programado en Javascript/HTML y utiliza los datos subidos vía NightScout a un servidor propio. Se puede utilizar en cualquier navegador, ya sea de una computadora, celular o tablet. Brinda una interfaz simple para visualizar en una única pantalla a todos los pacientes/usuarios, o la opción de vista detallada de uno en particular. De cada sujeto se muestran los datos anteriormente mencionados de las últimas 4 horas (vista general) y 8 días (vista detallada).

Al ingresar a la sección de vista detallada de cada paciente, se carga el historial de glucosa de los últimos 8 días y se procesa para obtener las siguientes métricas para los días que tengan al menos un 60% de muestras capturadas:

1) Desviación estándar
2) Media
3) Intervalo entre cuartiles 1 y 3
4) Tiempos en rango: > 250mg/dl, entre 180 y 250mg/dl, entre 110 y 180mg/dl, entre 70 y 110mg/dl, <70mg/dl y <54mg/dl.
5) Porcentaje de muestras totales recibidas respecto a las esperadas por el CGM
6) Máxima tasa de crecimiento y máxima tasa de descrecimiento
7) Excursión máxima.

El uso de las métricas permite al personal médico mejorar el seguimiento del paciente y la toma de decisiones sobre su tratamiento.

Para el desarrollo progresivo del sistema con el objetivo final enfocado en realizar ensayos a lazo cerrado, se efectuaron múltiples pruebas de conectividad. En un comienzo estas se hicieron en personas sin diabetes para evaluar la estabilidad de la conexión con el CGM y la bomba. En paralelo se desarrollaba el sistema de MR. Una vez garantizada tanto la estabilidad de las conexiones como la respuesta del sistema de MR se procedió a la prueba en personas con diabetes o con hiperglucemia causada por una alteración producida a raíz del COVID-19. Las infografías de la Fig. 3 describe la relevancia, el funcionamiento y los objetivos de este módulo en el contexto COVID-19.

En el mes de julio se enviaron sensores y transmisores Dexcom G6 y celulares Motorola One XT1941-5 previamente configurados a los Hospitales Garrahan e Italiano de Buenos Aires. También se otorgó un usuario y contraseña para cada hospital, de modo de ingresar y tener precargados sus pacientes. La instalación remota fue probada y es posible siempre y cuando haya una señal de internet considerablemente buena. Al tener problemas de conectividad estable en los Hospitales, las conexiones se efectuaron con asistencia técnica por videollamada. El 24 del mismo mes se puso en marcha el primer Monitoreo Remoto en el Hospital Garrahan a un sujeto de 10 años con diagnóstico COVID-19, completando un seguimiento de cinco días. En agosto se colocó el segundo, llegando a los nueve días de monitoreo. En el HIBA la primera colocación se efectuó el 27 de julio, completando alrededor de cinco días de monitoreo continuo. En agosto siguieron otros tres pacientes que completaron diez días, seis y cinco días de monitoreo continuo. Todos los pacientes monitoreados se encontraban en estado crítico y tenían otras patologías además de diabetes y COVID-19.

En todos los casos el MR permitió infundir insulina endovenosa y controlar metabólicamente a los pacientes, lo cual no hubiese sido posible de otra manera debido a la imposibilidad de hacer los controles capilares requeridos cada hora en forma presencial. También se redujo considerablemente la exposición del personal de salud. Los resultados obtenidos fueron publicados en [5,6], donde se destaca que la plataforma constituye la primera herramienta para monitoreo continuo de múltiples pacientes empleada en áreas COVID, y la primera en utilizarse en pacientes pediátricos con coronavirus.

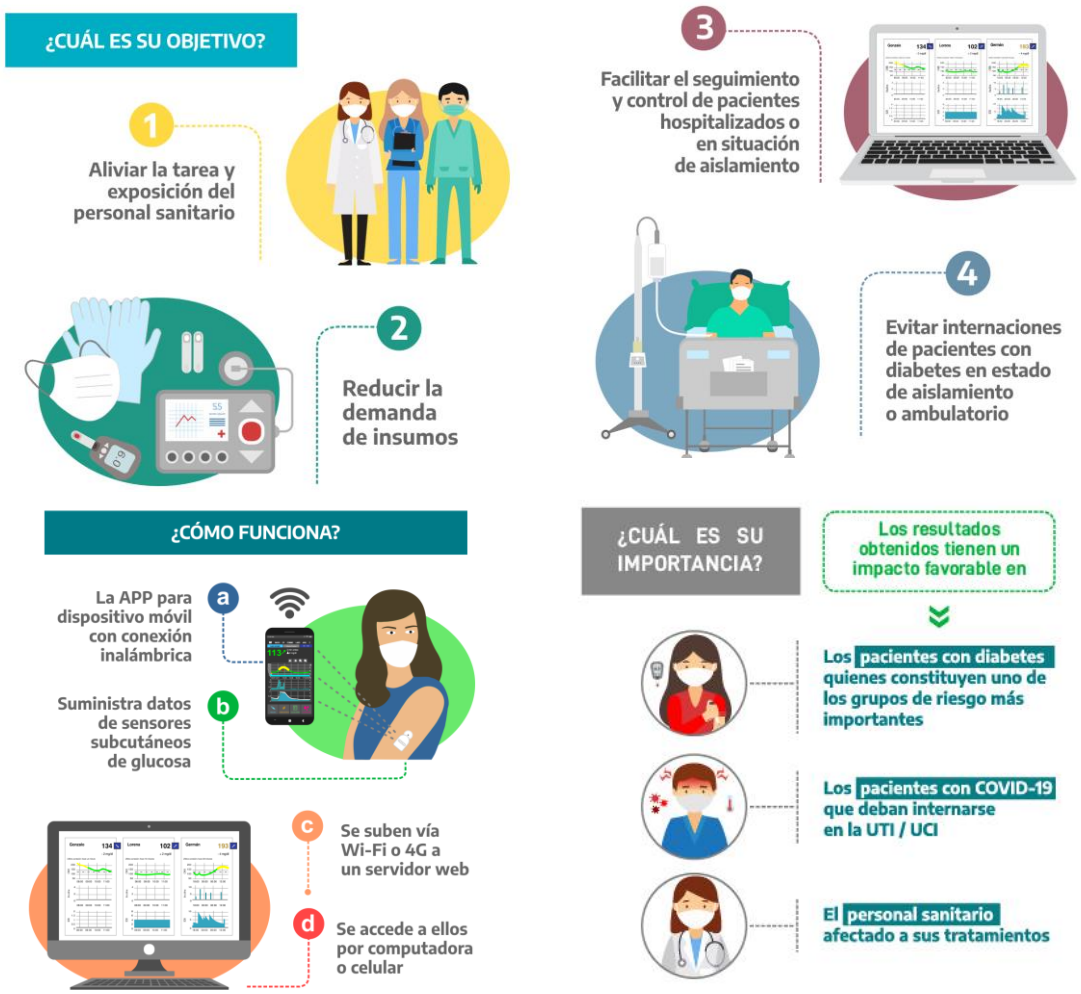


Figura 3 - Infografía del sistema desarrollado (diseño realizado por el Dpto. de Comunicación y Difusión Científica de CICpBA).

En total se completaron más de 1000hs de monitoreo remoto, lo que ha permitido adquirir una vasta experiencia en la colocación de CGMs al equipo médico y en el armado de planes de contingencia ante eventualidades por parte del equipo técnico. Incluso, basándose en esta experiencia, el protocolo de manejo de la glucosa para pacientes críticos en el Hospital Italiano fue actualizado, teniendo en cuenta no sólo los niveles de glucosa sino también sus tendencias y tasas de cambio.

Al establecerse en el mes de marzo de 2020 el Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio (ASPO) para combatir la pandemia de coronavirus, se tuvo que suspender el primer ensayo clínico ambulatorio del algoritmo ARG corriendo en InsuMate, cuya realización había sido aprobada por el Comité de Ética del Hospital Italiano de Buenos Aires para el 20-25 de abril. Esto, junto con la experiencia obtenida en las pruebas de lazo abierto de marzo, provocaron un cambio de prioridades en la línea de investigación y el equipo de trabajo. Se obtuvo así un proyecto COVID-19 Federal del MinCyT centrado en el monitoreo remoto de la glucemia para pacientes hospitalizados y/o aislados. Su primera fase ya ha sido completada, encontrándose operativo y validado el módulo InsuMate-MR. Como culminación de dicha fase, se comunicaron los resultados obtenidos a las autoridades del MinCyT y los ministerios de Salud nacional y provincial, solicitando junto con los jefes de las UTIs y de las secciones de Diabetes de los hospitales participantes la adquisición de nuevos sensores para poder continuar y extender el uso de la plataforma en nuestro sistema de salud.

En la segunda fase se espera incorporar al sistema nuevas herramientas de diagnóstico y de soporte de decisiones terapéuticas tanto para el equipo médico en áreas críticas como para pacientes aislados. A su vez, se presentará en estas jornadas el trabajo realizado durante el ensayo clínico de lazo cerrado pospuesto en 2020, realizado entre los días 8 y 14 de marzo de 2021. Finalmente, se espera poder llevar adelante un ensayo clínico pediátrico junto con la sección de Diabetes del Hospital Garrahan, cuyo protocolo se encuentra en evaluación en ANMAT.

Conclusiones

El desarrollo de la plataforma InsuMate y su módulo de Monitoreo Remoto ha resultado de gran utilidad en el contexto de emergencia generado por la pandemia de coronavirus, habiéndose validado su correcto funcionamiento tanto para uso ambulatorio como hospitalario. El módulo InsuMate-MR permite la recepción y el acceso remoto de medidas de glucemia provenientes de distintos dispositivos y marcas de CGM (los cuales recién fueron aprobados para uso hospitalario en mayo de 2020), así como el análisis de la evolución del paciente mediante el cálculo periódico de métricas de uso clínico. Al ser una plataforma de código abierto, brinda la posibilidad de adaptar el sistema en forma gratuita a los requerimientos de cada centro médico. Las pruebas realizadas en pacientes con COVID-19 fueron satisfactorias, sumando las horas de monitoreo continuo necesarias como para concluir que la plataforma es lo suficientemente estable para ser empleada de forma asistencial para el MR de pacientes hospitalizados críticos. Cabe remarcar que el sistema sirve tanto para personas con diabetes como sin ella, ya que el COVID-19 puede alterar el control metabólico en personas sin patologías previas.

Bibliografía

[1] R. Sánchez-Peña, D. García-Violini, M. Moscoso-Vásquez, P. Colmegna, F. Garelli, H. De Battista, E. Fushimi, M. Breton, N. Rosales, E. Campos-Náñez, V. Beruto, P. Scibona, C. Rodriguez, J. Giunta, V. Simonovich, W. H. Belloso, D. Cherñavvsky, and L. Grosembacher, “Artificial Pancreas: Clinical Study in Latin Am erica Without Premeal Insulin Boluses,” Journal of Diabetes Science and Technology, vol. 12, no. 5, pp. 914–925, 2018.
[2] F. Garelli, “INSUMATE. Tipo D-Denominativa. Protección Clase 9. Nro. Refererncia: 827774. Titularidad: UNLP. Solicitante: Fabricio Garelli. Instituto Nacional de la Propiedad Intelectual,” 13/12/2019.
[3] J. Kesavadev, S. Srinivasan, B. Saboo, M. K. B, and G. Krishnan, “The do-it-yourself artificial pancreas: A comprehensive review,” Diabetes Therapy, vol. 11, no. 6, pp. 1217–1235, 2020.
[4] https://androidaps.readthedocs.io/en/latest/EN/.
[5] F. Garelli, N. Rosales, E. Fushimi, D. Arambarri, L. Mendoza, H. De Battista, R. Sánchez-Peña, J. García Arabehety, S. Distefano, C. Barcala, J. Giunta, M. Las Heras, C. Martinez Mateu, M. Prieto, E. San Román, G. Krochik, and L. Grosembacher, “Remote glucose monitoring platform for multiple simultaneous patients at coronavirus disease 2019 intensive care units: Case report including adults and children,” Diabetes Technology & Therapeutics, 2021.
[6] Gabriela Krochik; Mariana Prieto; Carolina Martínez Mateu; Consuelo Barcala; Rosario Gallagher; Silvia Filippini; Delfina Arambarri; Leandro Mendoza; Nicolás Rosales; De Battista, Hernán; Sanchez Peña, Ricardo Salvador; Fabricio Garelli, “Reporte de altos requerimientos de insulina en pacientes críticos pediátricos con COVID-19. Experiencia con monitoreo remoto continuo de glucosa,” Revista de la sociedad Argentina de diabetes, vol. 55 p. 65 – 69, 2021.

DESAFIOS Y LOGROS EN EL DISEÑO DE AYUDAS TECNICAS PARA PcD[1] DURANTE LA ASPO[2]

Autores: Ferrari, Flavio A.; Fernández Busse, Marcelo; Ferreyra, José; Malanga, Juan; Pellegrino, Eric; Pagliaro, Leonardo; Epifanio, Alejandro; Lencinas, Julian.

UIDET UNITEC[3], Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Calle 48 y 116, La Plata, Argentina. ATEI[4]. flavio.ferrari@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: NEE[5], PcD, Inclusión, Domótica, Virtualidad

[1] PcD: Personas con discapacidad, [2] ASPO: Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio, [3] UIDET UNITEC: Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia para la Calidad de la Educación en Ingeniería con orientación al uso de TIC. [4] ATEI: Area Tecnica de Electrónica e Instrumentación, [5] NEE: Necesidades Educativas Especiales.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la UIDET UNITEC es abordar cuestiones sobre la aplicación de la electrónica e informática en el desarrollo de productos que generen una mejora de la calidad de vida de las personas de la comunidad circundante que presentan algún tipo de discapacidad y que les impide su inclusión plena en la vida en sociedad.

Las necesidades de estas personas son relevadas a través de acuerdos realizados con las distintas instituciones con las que se han efectivizado acuerdos de colaboración y a través de entrevistas y reuniones llevadas a cabo in situ en las organizaciones mencionadas, en los hogares de las PcD o en los espacios de la UIDET UNITEC. Los desarrollos son llevados a cabo a través de proyectos de extensión universitaria en los que los dispositivos y software son entregados a las personas que lo solicitan a través de los acuerdos previos citados, sin costo alguno.

La diversidad tecnológica de los dispositivos desarrollados ha hecho que dentro de la UIDET se debieran implementar distintos espacios denominados “Espacios de extensión”, en el que cada uno se enfocara en una actividad particular. A la fecha existen seis espacios conformados: LATE (Laboratorio de Ayudas Técnicas a Establecimientos de Educación Especial), LabTIC (Laboratorio de desarrollo de Software con orientación al uso de TICs), EDETEC (Espacio de Desarrollos Tecnológicos), Técnicas 3D, Proyecto Arduino y Mecatrónica.

Durante los años 2017 y 2018 se realizaron desde UNITEC varios trabajos orientados a la automatización del hogar o “Domótica” que tuvieron como objetivo ser proyectos de Trabajo Final y PPS (Prácticas Profesionales Supervisadas) para varios alumnos. Estas soluciones se utilizan para facilitar el control del hogar desde un dispositivo (PC, Notebook, Tablet o Celular) de distintos artefactos del hogar como: luz con dimerizado, electrodomésticos, calefactores, aire acondicionado, persianas, etc. Esta conjunción de electrónica, programación y dispositivos mecánicos forjó la formación del espacio de extensión Mecatrónica.

La domótica es “el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, que aporta seguridad y confort, además de comunicación entre el usuario y el sistema” aportando beneficios a las personas con algún tipo de discapacidad asociada.

Con esta nueva manera de interpretar la domótica desde un punto de vista del diseño universal, es que se ha desarrollado un proyecto domótico con la premisa de que sea recorrido transversalmente por diferentes técnicas de accesibilidad, tanto en su diseño electrónico como en la aplicación móvil, desarrollada especialmente para interactuar con los distintos elementos de la vivienda.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A principios de 2020 con el advenimiento a nivel mundial de la Pandemia por el COVID-19 y la posterior aplicación de la ASPO a nivel Nacional, fue necesario establecer nuevos criterios de enseñanza para poder cumplir con los desarrollos que ya habían sido programados. Parte de esa reprogramación tuvo como protagonistas a los alumnos del 7° año de la Escuela de Educación Técnica N° 6 – Albert Thomas, tecnicatura electrónica, que realizan en la UIDET sus Prácticas Formativas Obligatorias (PFO). Estas PFO, requieren una carga horaria de 200 hs. anuales. En coordinación con los becarios, supervisores y colaboradores del espacio de extensión Mecatrónica, se programaron durante todo el año 2020 clases virtuales de modo de cumplir con las ideas y diseños previamente establecidos. En este contexto, se encararon dos proyectos bien definidos basados en la domótica los cuales cumplimentaron satisfactoriamente las etapas de investigación, desarrollo y simulación, dejando su implementación para más adelante, cuando se produzca el regreso a la presencialidad áulica.

A) Dosificador de alimentos de mascotas para personas con movilidad reducida

El proyecto nace con la necesidad de resolver un problema que se les presenta a las personas en los casos que se ausentan de sus hogares por un tiempo prolongado o bien que tienen dificultades de movilidad. Al igual que los dispensadores de comida existentes en el mercado, el prototipo propuesto tiene limitaciones en la cantidad de suministro, es decir, está pensado para dar alimento en el periodo de 1 (una) semana a través de un sistema eléctrico que lo hará más eficaz y práctico.

Entre los aspectos constructivos del prototipo, se destacan: armado de piezas con diferentes especificaciones de tamaño y peso, características del motor encargado de accionar el mecanismo y análisis de la electrónica que controlará el mecanismo tanto en su diseño como funcionamiento.

Se debe tener conocimiento previo del alimento con el que va a trabajar el dispensador, ya que si el grano es muy pequeño o muy grande podría afectar su funcionamiento. Otro aspecto esencial, es la cantidad de veces que come la mascota al día, ya que el equipo debe ser capaz de proveer dichas raciones. Para la programación del dosificador se tuvo en cuenta el tipo de mascota (perro o gato), su peso, edad, y la clase de alimento a proveerle ya que las marcas comerciales difieren en su composición (valor energético, porcentaje de cereales, etc.)

Diseño del dosificador:

Se analizaron características físicas y mecánicas de los distintos modelos presentes en el mercado (Figura 1). Inicialmente el prototipo se pensó con el uso de un tornillo sin fin sujeto a un motor (Figura 2). El principio de funcionamiento consta de un motor, que hace girar el tornillo sin fin. Dicho tornillo está dentro de un tubo separado milimétricamente de las paredes de modo que el alimento no se derrame ni quede atrapado y sea conducido así hasta una rampa y de ahí, a un plato.

Por cuestiones constructivas físicas, no se optó por este modelo, diseñando otro basado en paletas similar al comercial (Figura 3), que al girar suministran el alimento.

Contando en la UIDET UNITEC con el espacio de extensión “Adaptaciones inclusivas en 3D” se realizaron los diseños de las piezas del dosificador bajo el Software de modelaje de uso gratuito BLENDER a fines de ser impresos una vez se vuelva a la presencialidad.



Figura 1

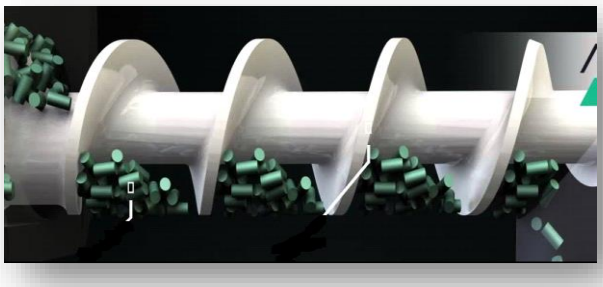


Figura 2

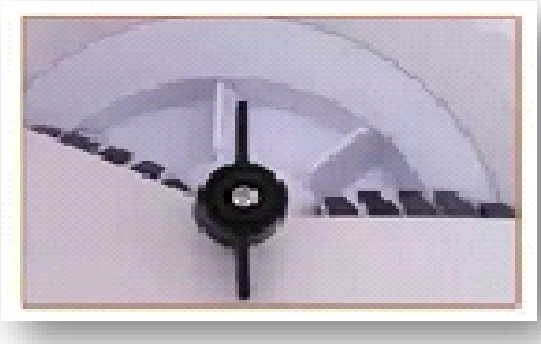
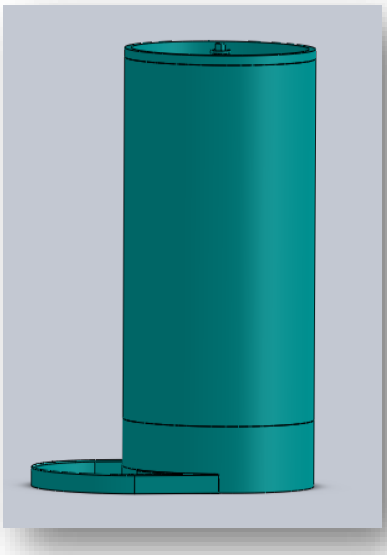
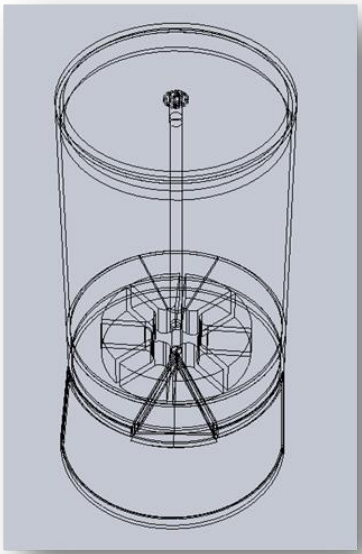


Figura 3



Dosificador visto de costado



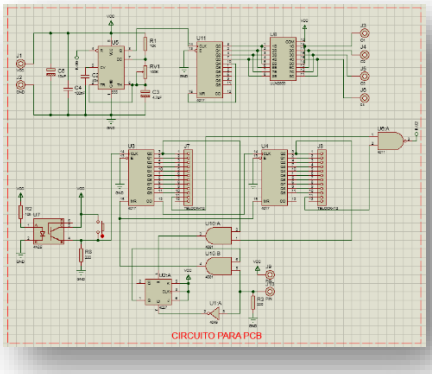
Vista 3D del dosificador

Pueden calcularse las porciones que el sistema es capaz de entregar a través del uso de las siguientes formulas:

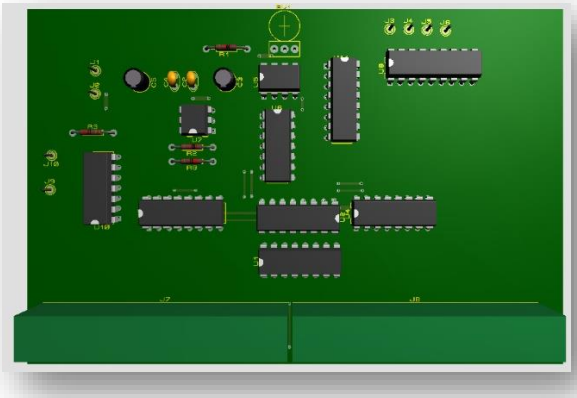
V= (π∗R^2∗AP) / (NP) de donde se obtiene: **V**= 176,7cm^3 (en función del diseño ya establecido)

Siendo: V: volumen, **R:** radio de las paletas, **AP:** altura de las paletas, **NP:** número de paletas

El eje del dosificador estará solidario sobre la tapa del mismo a un motor paso a paso de imán permanente y unipolar. En lo que refiere al control del motor, bien podría haberse utilizado un microcontrolador Arduino, pero se optó por realizar un circuito con electrónica discreta basada en el CI 555. Asimismo, para la determinación de los horarios de dosificación se utilizó un RTC, el DS3231. El circuito total fue simulado bajo un Software ad hoc.



Circuito para PCB



Vista 3D de la plaqueta finalizada

B) Monitoreo remoto de variables hemodinámicas para pacientes con movilidad reducida.

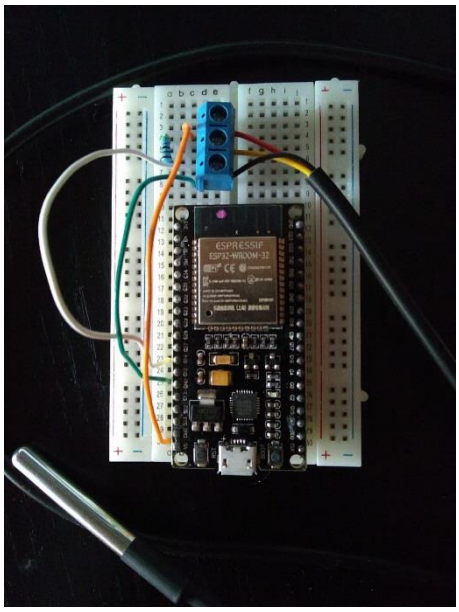
Se propuso desarrollar un sistema biométrico de acceso remoto capaz de almacenar datos en un Servidor Web propio mediante Wi-Fi para posteriormente visualizarlos.

Se desarrolló un sistema capaz de medir y almacenar la temperatura de una persona en una base de datos a la cual se podrá ingresar para visualizar esta información por medio de un dispositivo móvil (cómo un celular o tablet) o bien desde computadoras a través de una plataforma virtual y/o una App instalada.

El sistema fue realizado con un microcontrolador ESP32 programado en lenguaje Arduino, el cual está basado en lenguaje C++, a través del IDE de Arduino. Dicho microcontrolador se conecta, a través de un circuito electrónico adecuado, a un Sensor Digital de Temperatura. Luego del estudio de varios sensores se optó por el uso del DS18B20. Asimismo, se analizaron otro tipo de sensores como el sensor de pulso cardíaco no invasivo APDS-9008, aunque se prefirió el sensor de pulso ECG AD8232 que registra la actividad eléctrica como un electrocardiograma o lectura analógica, lo que genera una mayor precisión. Por último, también se buscó información respecto de sensores capaces de medir la presión arterial, sin embargo, las técnicas capaces de medir presión arterial con sensores todavía están en desarrollo al punto que recién en la actualidad se están brindando certificación médica para SmartWhatch, ya que muchos sensores de presión arterial no terminan siendo tan efectivos como el método de medición manual tradicional.

Para el almacenamiento de la información, se creó un servidor web propio con la herramienta de software libre XAMPP con sistema Apache. También se utilizó la herramienta de gestión

de Base de Datos de MySQL Workbench. Para la plataforma virtual, se hizo uso del lenguaje de programación PHP como lenguaje principal y de Backend para la gestión de la información almacenada en la Base de Datos. Se utilizaron los lenguajes HTML y JavaScript en complementación a PHP, para darle mayor versatilidad a la plataforma, y también se hizo uso de los scripts gratuitos de w3school, ChartJs y JQuery para realizar una GUI amigable con el usuario.

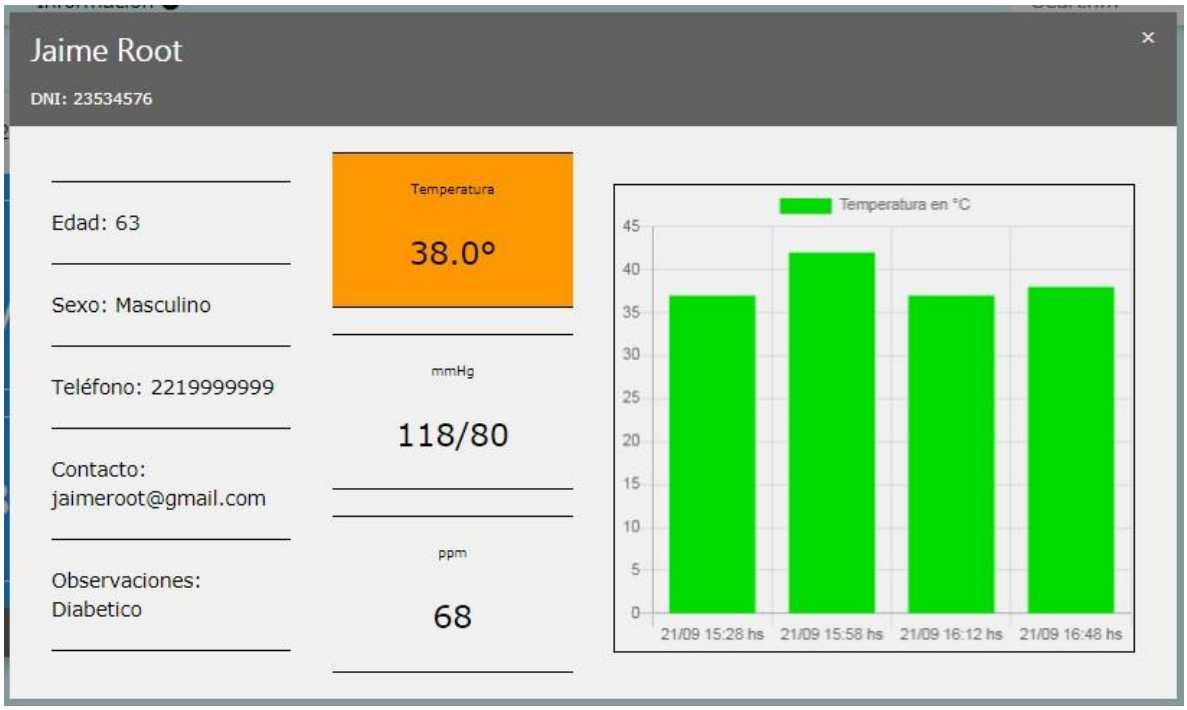


ESP32 conectado al sensor DS18B20

.



Sensor ECG AD8232 y sus electrodos



Presentación de los datos tomados por los sensores y enviados via Wi-Fi al Servidor Web

Pueden programarse alertas como un cambio de color en algunas de las variables sensadas ante la presencia de valores no estándares. Ejemplo:



Cabe destacar la ventaja que tiene el profesional de poder acceder a los datos en “tiempo real” para un monitoreo adecuado de su paciente, desde cualquier lugar con conectividad.

Es importante mencionar que, para la realización de la plataforma virtual, se tuvieron en cuenta las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG 2.0 y 2.1) que explican cómo hacer que las herramientas de creación de contenido sean accesibles en sí mismas y los autores puedan crear contenido web más accesible.

CONCLUSIONES

El advenimiento de la ASPO a principios del ciclo lectivo 2020 representó un verdadero desafío para la totalidad de la sociedad y en particular para el arco docente en todas sus etapas. La virtualidad generó nuevas formas de comunicación a las que hubo que adaptarse rápidamente. La UIDET UNITEC con un gran grado de presencialidad en sus actividades (mayormente extensión) debió reprogramar sus tareas tomando la decisión de continuar con los desarrollos previamente planteados y los nuevos, cumplimentando las etapas de diseño, desarrollo, simulación y documentación, y completar la implementación de los mismos cuando se retorne a la presencialidad. Los trabajos aquí presentados son ayudas técnicas a personas con movilidad reducida que, enmarcados en la temática de la domótica, facilitan el desenvolvimiento de PcD en el hogar. Los mismos fueron realizados por alumnos del Albert Thomas cumplimentando las horas requeridas en forma virtual, para la aprobación de la materia PFO correspondiente al 7mo. año de su tecnicatura Electrónica supervisados por alumnos de los últimos años de la Carrera de Ingeniería Electrónica y dirigidos por profesionales de la UIDET UNITEC.

La actividad académica debe continuar en todas sus ramas a pesar de la situación actual de pandemia. Las PcD requieren soluciones en tiempo y forma y es nuestra responsabilidad como UIDET, que realiza mayormente extensión desde el 2008, no pausar las mismas. La discapacidad no espera.

Bilbiografía:

Dosificador de alimentos de mascotas para personas con movilidad reducida

https://planetaperruno.com/comederos-automaticos-para-perros/

https://www.amazon.es/dispensador-comida-perro/s?k=dispensador+comida+perro

Monitoreo remoto de variables hemodinámicas para pacientes con movilidad reducida.

https://github.com/DavidArpone/Proyecto-Electromedicina

http://www.sinaptec.alomar.com.ar/2018/09/esp32-desde-cero-tutorial-6-servidor.html

http://www.scielo.edu.uy/pdf/ruc/v29n2/v29n2a10.pdf

Selección de Indumentaria de Protección para riesgo de Arco Eléctrico, basada en el método de "Box Test"

Dias, Ricardo, Arrojo, Carlos. D., Nastta, Hernán A.,
Herlein, Matías. E., Scaramutti José C.

UIDET-LEME - Ensayos y Mediciones Eléctricas
Depto. de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería (UNLP)
Calle 49 y 116 - (1900) La Plata, Bs. As.
leme@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Arco Eléctrico, Riesgo Eléctrico, EPP.

1. Introducción

Todo evento de arco eléctrico (“Arc Flash”) que se origine inesperadamente a partir de un cortocircuito en algún punto de una dada instalación, puede poner en riesgo a cualquier persona que desarrolle tareas en sus vecindades.

Los recaudos que deben tomarse en un sistema eléctrico, para evitar que se produzcan contingencias que den lugar a que un operador quede expuesto a un arco eléctrico, son conocidos. Sin embargo, la realidad demuestra que tal hecho se da en muchas oportunidades, sea por accidente, negligencia o por la falla de alguno de los equipos involucrados.

Los posibles efectos que suelen acompañar a un arco eléctrico son múltiples: térmicos (con eventual desprendimiento de partículas de metal incandescente), sonoros, emisión de rayos ultravioleta, presión, etc., si consideramos sólo los de naturaleza física, sin pretender abarcar otros, no menos importantes, como pueden ser los psicológicos. En este punto, vale la pena remarcar, que en el alcance de este artículo estarán contempladas solo las consecuencias térmicas del mismo.

Los Elementos de Protección Personal (EPP) jugarán un rol fundamental para morigerar las consecuencias de un arco eléctrico sobre las personas. Sin embrago, su elección no suele ser trivial y requiere de análisis previos, algunos de los cuales se pretende desarrollar en este texto. Para cada instalación potencialmente riesgosa, será menester evaluar las condiciones locales en relación con la generación de posibles arcos eléctricos.

Es esencial tomar conciencia de la gran importancia que tiene que toda persona que efectúe tareas de montaje, mantenimiento, reparación u operación de equipamiento en instalaciones eléctricas de potencia considerable, disponga de la indumentaria adecuada, la que deberá estar cuidadosamente elegida y probada.

Antes de entrar de lleno en los contenidos centrales de este artículo, parece conveniente hacer algunos comentarios respecto de la normativa para el ensayo de Indumentaria de Protección utilizada ante riesgos de arco eléctrico. Las normas internacionales actualmente más difundidas relacionadas con el tema son las de la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC Standard 61482-1-1 [1], IEC Standard 61482-1-2 [2] e IEC Standard 61482-2 [3], y la de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM F1959/F1959M [4].

El ensayo descripto en las normas IEC 61482-1-1 y ASTM F1959/ F1959M contempla la realización de un “arco abierto”. Estas normas están basadas en una práctica muy utilizada en América del Norte, y permiten, para un dado material, determinar el parámetro conocido como ATPV (Arc Thermal Performance Value o Valor de Protección Térmica contra el Arco). El valor de ATPV es muy empleado en los Estado Unidos de Norteamérica y Canadá, para

categorizar materiales y prendas de protección según diferentes grados de riesgo de exposición a un arco eléctrico en cada lugar de trabajo [5].

En cuanto al ensayo contemplado en la norma IEC 61482-1-2, sigue la metodología conocida como “arco confinado” en una caja de yeso o “Box Test”. Establece dos clases de protección (1 ó 2) para materiales o prendas, de acuerdo con sendos valores de la corriente de arco prevista.

En tanto, la norma actualmente vigente en nuestro país es la IRAM 3904 [6], prácticamente idéntica a la citada IEC 61482-1-2, que es justamente la referencia para el estudio de la selección de Indumentaria de Protección que se detalla más adelante.

Como comentario general, se puede decir que existe un gran consenso internacional en cuanto a la evaluación cualitativa de los resultados de las pruebas de diferentes materiales a emplearse ante riesgos de exposición al arco eléctrico. Sin embargo, no puede decirse lo mismo respecto de los criterios para una evaluación cuantitativa. La existencia de diversos parámetros de ensayo hace extremadamente difícil la comparación de los resultados obtenidos para un mismo material, empleando diferentes métodos de prueba. No es raro ver cómo suelen efectuarse comparaciones teniendo en cuenta solamente, por ejemplo, el valor de la corriente de arco “prevista” (8 kA en el ensayo de ATPV y 4 kA ó 7 kA en el ensayo en caja), soslayando considerar otros parámetros sumamente importantes, como pueden ser la distancia entre el material en prueba y el arco eléctrico, la duración del mismo, o el valor verdadero de la corriente durante la ocurrencia del arco, que también definen la energía de ensayo, y por ende, los niveles de protección de un dado material o prenda. [7] [8] [9]

A este punto, es conveniente hacer hincapié en que los dos métodos de ensayo previstos actualmente por la IEC, “arco abierto” y “arco confinado”, contemplan montajes, configuraciones, tipos de arco eléctrico, parámetros, procedimientos de prueba y requisitos de aprobación muy diferentes; razón por la cual puede afirmarse que los resultados obtenidos no son físicamente comparables, ni pueden ser transformados unos en otros matemáticamente. La indumentaria de protección debe ser valorada y seleccionada “solo de acuerdo con alguno de los dos métodos”, es decir que los mismos no deben combinarse. [7]

En consonancia con lo dicho en el párrafo anterior, la norma IEC 61482-2 [3], que establece los requisitos generales que debe cumplir la indumentaria de protección a utilizar ante riesgo de exposición al arco eléctrico, expresa claramente que, si bien ambos métodos poseen validez reconocida por la Comisión Electrotécnica Internacional para la evaluación de tales elementos, cada uno ellos suministra información diferente no comparable directamente, y deja librada a los usuarios la elección del método de ensayo.

2. La evaluación de Riesgo de Arco Eléctrico

La denominación habitual de “Evaluación de Riesgo de Arco Eléctrico”, apunta especialmente a la protección de las personas que trabajan en zonas donde es posible que ocurran eventos de arco eléctrico. Es el paso previo, indispensable, a la hora de pretender seleccionar los EPP adecuados. Este concepto está ampliamente tratado en la bibliografía, buena parte de la cual es de acceso libre, por lo cual no se pondrá en discusión aquí su pertinencia. Más bien, se buscará proporcionar una visión general sobre el alcance y los diferentes enfoques posibles mencionados en normas nacionales e internacionales, considerando estándares y legislación de la Unión Europea y de los Estados Unidos de Norteamérica, que se utilizan como referencias en todo el mundo [10].

La citada evaluación de riesgo apunta especialmente a la determinación de la condición y cantidad de calor a los que pueden verse expuestos los trabajadores en riesgo. Estas variables suelen verse representadas generalmente a través de parámetros tales como la

Energía de Arco [kJ] o la Energía Incidente [cal/cm²] o [kJ/m^2], y en un punto de una dada instalación eléctrica dependen, al menos, de:

- la tensión nominal del sistema,
- la potencia o la corriente de cortocircuito,
- la distancia entre el eventual arco y la persona,
- y la duración de la corriente de falla (dispositivos de protección).

En estas condiciones, los pasos a seguir para una correcta Selección de la Indumentaria de Protección Personal para riesgo de Arco Eléctrico serían, sucintamente:

- estimar la Energía que puede provenir de un eventual Arco Eléctrico en ciertos puntos de una dada instalación;
- caracterizar el tipo de Indumentaria necesaria para proteger al personal que desarrolle tareas en zonas con riesgo de exposición a ese Arco Eléctrico.

El presente punto de este artículo se ocupará entonces de desarrollar el primero de los ítems citados arriba, en tanto que en el apartado siguiente se ocupará del segundo.

En Estados Unidos de Norteamérica la evaluación de riesgo de arco eléctrico es obligatoria desde el año 2014, cuando la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) promulgó una revisión de las normas generales de la industria y de la construcción para trabajar en instalaciones de generación de energía eléctrica, transmisión y distribución (29 CFR 1910.269 and 29 CFR, Part. 1926, Subpart V: Flame Resistant Clothing and Arc-rated Protection, respectivamente). [10] [11]

A nivel de la Unión Europea, en cambio, al momento de esta publicación no se conoce legislación que obligue a la realización de una evaluación de riesgo de arco eléctrico en zonas expuestas. Sin embargo, existen antecedentes que denotan que esto, además de ser práctica habitual, se halla en avanzado estado de estudio y aplicación. Como muestra de ello se puede mencionar la norma EN 50110-1, que ha sido adoptada como propia por varias naciones de la Unión [12]. Esta norma establece requisitos de seguridad a cumplir durante la operación de instalaciones eléctricas y también cuando se efectúen tareas en sus proximidades, siempre que exista riesgo eléctrico. Otros valiosos documentos que se pueden mencionar en este apartado, y sobre los que avanzaremos más adelante, son: la “Guía para la selección de equipamiento de protección personal contra los efectos térmicos de un arco eléctrico” de la Asociación Internacional para la Seguridad Social (ISSA, por sus siglas en inglés) [7], y la “Guía para la selección de elementos de protección personal para trabajos eléctricos”, BGI/GUV-I 5188 E [13], de la Asociación Alemana para los Seguros de Accidentes (DGUV, por sus siglas en alemán) [13].

Un rasgo distintivo que se desprende de la comparación entre los dos métodos citados, y que suele ser motivo de confusiones, es el de las magnitudes en las que se basan los cálculos para la evaluación de riesgo: mientras la práctica norteamericana hace hincapié en la “energía incidente”, expresada en [cal/cm²] ó [kJ/m^2], en el método propuesto por la guía europea BGI/GUV-I 5188 se utiliza la “energía de arco”, expresada en [kJ].

De esta manera, según lo dicho hasta aquí, se ve que a nivel global conviven dos métodos para evaluar los riesgos asociados con un arco eléctrico:

- uno de ellos relacionado con la citada legislación norteamericana y basado fundamentalmente en los preceptos y recomendaciones de la Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo, NFPA 70E [5] y en la Guía para realizar los cálculos de riesgo de arco eléctrico IEEE 1584 [14];
- y otro, desarrollado en relación con la práctica de la Unión Europea, basado en la Guía BGI/GUV-I 5188 E, antes mencionada.

A este punto, parece pertinente relacionar los dos métodos recientemente mencionados, con las citas efectuadas más arriba en este artículo, respecto de la normativa para el ensayo de Indumentaria de Protección utilizada ante riesgos de arco eléctrico. Evidentemente, la práctica usual norteamericana está asociada con los resultados obtenidos en los ensayos de "arco abierto", realizados según las normas IEC 61482-1-1 o ASTM F1959/F1959M, en tanto que el método de raíz europea considera los ensayos de "arco confinado" ("Box Test"), realizados de acuerdo con la norma IEC 61482-1-2.

Así, dado que según se anticipó, la norma actualmente vigente en nuestro país es la IRAM 3904, y es prácticamente idéntica a la citada IEC 61482-1-2, el método propuesto en esta publicación para la selección de Indumentaria de Protección se basará en la Guía BGI/GUV-I 5188 E.

Si bien como se verá más adelante, el método de "Box Test" no ofrece limitaciones respecto de los niveles de tensión del sistema para los cuales se deba seleccionar la indumentaria, cubre especialmente todos los requisitos prácticos para instalaciones de baja tensión, siendo este el ámbito en el que ocurren la mayoría de los accidentes relacionados con fallas de arco. [7] [13][15]

3. La Selección de la Indumentaria de Protección adecuada

La participación en el Subcomité de Indumentaria de Protección del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) y las múltiples consultas recibidas durante los últimos años, nos han mostrado que, en nuestro país, la selección de la indumentaria adecuada para la protección contra los efectos térmicos de un arco eléctrico es motivo de preocupación entre los diferentes actores involucrados. Quizá haya colaborado en este aspecto, la poca difusión que ha tenido históricamente en Argentina la utilización de criterios basados en el método de "Box Test", de gran impacto práctico a partir de la obligatoriedad de la certificación de este tipo de indumentaria desde el año 2016 [16] [17].

Es claro que la salud e inclusive la vida de cualquier persona que se halle en las cercanías de un arco eléctrico, pueden estar en peligro debido a múltiples factores relacionados con el evento (temperatura, presión, sonido, partículas de material incandescente, etc.); sin embargo, uno de los riesgos personales más salientes, es el de los efectos térmicos del arco. En este sentido, es oportuno remarcar que la metodología establecida en la guía BGI/GUV-I 5188 brinda asistencia en la selección de la indumentaria adecuada, justamente para la protección contra los efectos térmicos de un arco eléctrico.

En este sentido, vale mencionar que los preceptos de la guía BGI/GUV-I 5188 ya han sido incorporados a programas de cálculo específicos tales como ETAP 19.0, que dispone de un módulo específico para análisis de arco eléctrico [18], el desarrollado por BSD-Dresden [19] y el realizado por DigSILENT, que también incorpora una herramienta para análisis de "arc flash" [20].

A continuación, se detalla sucintamente el procedimiento propuesto por la Guía BGI/GUV-I 5188 E, aplicable a instalaciones de corriente alterna (50 Hz) de más de 50 V y, como ya se anticipó, basado en la técnica de "Box Test".

En primera instancia describe un método simplificado para determinar la "Energía Eléctrica de Arco" (W_{arc}) en el lugar de interés. Para ello, se toman en cuenta factores relacionados con las características eléctricas básicas de la red eléctrica (tensión de servicio, relación X/R, potencia de cortocircuito, distancia entre fases o partes activas) y los tiempos de actuación de los dispositivos de protección (fusibles, interruptores, etc.); y también, un factor de corrección (k_p) que tiene en cuenta la reducción de la corriente de cortocircuito real en el lugar de la falla, respecto del valor calculado a partir del dato de la potencia de cortocircuito.

En segundo lugar, se determina la “Energía Eléctrica de Protección Térmica contra el Arco Eléctrico” (W_{arcP}) en el sitio bajo estudio, para cada una de las Clases (1 o 2) contempladas en la norma IRAM 3904 [6], según el método de “Box Test”. Para el cálculo se toman como base las energías de arco dadas por la norma para cada una de las Clases y se las afecta por dos coeficientes, uno de ellos, k_T, tiene en cuenta la configuración física o geométrica del lugar de interés, donde podría ocurrir el evento de arco a analizar, y otro que es cuadráticamente proporcional a la relación entre la eventual distancia al arco de la persona afectada y los 300 mm asociados con la disposición para el ensayo de “Box Test” de la norma citada. De esta forma, se llegan a determinar dos valores de “Energía Eléctrica de Protección Térmica contra el Arco Eléctrico”, W_{arcP1} y W_{arcP2}, uno por cada una de las Clases de indumentaria, 1 ó 2, respectivamente.

Luego, la elección de la clase de indumentaria de protección se hará teniendo en cuenta que siempre debe cumplirse que la “Energía Eléctrica de Arco” (W_{arc}) calculada para el lugar de interés sea menor o igual que la “Energía Eléctrica de Protección Térmica contra el Arco Eléctrico”, W_{arcP1} o W_{arcP2}.

Para los casos en los cuales se obtenga como resultado que ni siquiera el uso de indumentaria de Clase 2 brinda suficiente protección contra los efectos térmicos de un eventual arco eléctrico, la guía BGI/GUV-I 5188 propone algunas recomendaciones de orden práctico, entre las cuales se pueden mencionar el ajuste (disminución) de los tiempos de actuación de las protecciones, el aumento de la distancia de trabajo (mediante el uso de herramientas especiales, pértigas, etc., por ejemplo) o, finalmente, trabajar sin tensión eléctrica en el sistema.

Sin perjuicio de que la selección de la Indumentaria de Protección se haga concienzudamente, aplicando alguno de los procedimientos ampliamente avalados propuestos hasta aquí, nunca se debe perder de vista que el EPP debe ser la última herramienta de seguridad; antes deberán tomarse todas las medidas de protección posibles para evitar o minimizar el riesgo, tanto de tipo técnico como organizacionales. Ejemplo de ellas son las capacitaciones o entrenamientos periódicos de todo el personal que desarrolle tareas en entornos riesgosos y el adecuado etiquetado de las distintas zonas de la instalación. El análisis de riesgo de arco eléctrico no cubre todos los aspectos de seguridad, y la selección correcta de los EPP solo podrá asegurar, en buena parte de los casos, que no se produzcan quemaduras de segundo grado en la piel.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que solo se ha contemplado la selección de indumentaria para la protección del torso y eventualmente las piernas, no contándose aún con normas o requisitos precisos armonizados internacionalmente, para la evaluación de otros medios de protección corporal efectiva contra un arco eléctrico, tales como guantes o protectores faciales. [7] [13]

4. Conclusiones

La selección de Indumentaria de Protección contra los efectos térmicos de un arco eléctrico (“Arc Flash”) basada en el método de "Box Test", ha estado escasamente difundida en nuestro país hasta hace pocos años. Sin embargo, la obligatoriedad de su certificación a partir del año 2016, siguiendo los requisitos de la norma IRAM 3904, ha despertado sumo interés en usuarios, fabricantes, importadores, etc., que directa o indirectamente están relacionados con la utilización de este tipo de indumentaria. Disponer entonces de un procedimiento acorde a los requisitos locales, pero con el respaldo de una sólida experiencia internacional, como es el caso de la guía europea BGI/GUV-I 5188 E, sin duda resulta sumamente valioso. Por otra parte, la incipiente experiencia adquirida en la utilización del método propuesto a casos vernáculos, ha demostrado su aplicabilidad en relación con la

normativa Argentina sobre el tema. Con estos antecedentes, se ve propicio continuar instando a su empleo a nivel local, a fin de recabar experiencia en distintos escenarios (instalaciones de diferentes niveles de tensión, potencias de cortocircuito, disposiciones físicas de sus componentes, etc.), que redunden en una más certera selección de la indumentaria en cuestión.

5. Referencias

[1] International Standard IEC 61482-1-1, “Live working. Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc. Part 1-1: Test methods. Method 1: Determination of the arc rating (ELIM, ATPV and/or EBT) of clothing materials and of protective clothing using an open arc, Edition 1.0, 2009-05.

[2] International Standard IEC 61482-1-2, “Live working. Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc. Part 1-2: Test methods. Method 2: Determination of arc protection class of material and clothing by using a constrained and directed arc (box test)”, First edition, 2007-01.

[3] International Standard IEC 61482-2, “Live working. Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc. Part 2: Requirements”. Edition 1.0, 2009-04.

[4] ASTM F1959/F1959M, “Standard Test Method for Determining the Arc Rating of Materials for Clothing”, ASTM International, 2006.

[5] National Fire Protection Association, NFPA 70E, “Standard for Electrical Safety in the Workplace”, edition 2015.

[6] Norma Argentina IRAM 3904, “Indumentaria de protección. Requisitos y métodos de ensayo de materiales y prendas utilizados ante riesgo de exposición al arco eléctrico”, segunda edición, 2019-12-05.

[7] Asociación Internacional para la Seguridad Social (ISSA), Comité Electricidad, Gas y Agua, “Guía para la selección de equipamiento de protección personal contra los efectos térmicos de un arco eléctrico”, Edición 2011.

[8] A. M. Graham, M. Hodder, G. Gates, “Current Methods for Conducting an Arc Flash Hazard Analysis”, Industry Applications Conference, 39th IAS Annual Meeting, 3-7 Oct. 2004.

[9] H. Hoagland, “Arc-Flash PPE Research Update”, IEEE Transactions on Industry Applications, May/June 2013.

[10] B. Stacho, J. Veleba and J. Dudek, "Arc Flash Risk Assessment. Overview of scope and different approaches in the US and in the EU", 20th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2019.

[11] Electric Power Generation, Transmission and Distribution Standard 29 CFR 1910.269 and 29 CFR, Part 1926, Subpart V: Flame Resistant Clothing and Arc-rated Protection.

[12] Norma Española UNE-EN 50110-1, “Explotación de instalaciones eléctricas. Parte 1: Requisitos generales”, febrero de 2006.

[13] German Social Accident Insurance, DGUV, BGI/GUV-I 5188 E, “Thermal hazards from electric fault arc. Guide to the selection of personal protective equipment for electrical work”, October 2012.

[14] Institute of Electrical and Electronics, Standard 1584, “Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations”, edition 2002, Amendment 1/2004, Amendment 2/2011

[15] M. Mehlem, “Guide to the selection of personal protective equipment against the thermal hazards from electric fault arc according to BGI/GUV-I 5188: Method and first experiences in use.”, ICOUM 2014, 11th International Conference on Live Maintenance, 21-23 May 2014, Budapest, Hungary.

[16] Resolución Nro. 896/1999, “Requisitos esenciales que deberán cumplir los equipos, medios y elementos de protección personal comercializados en el país”, Secretaría de Industria, Comercio y Minería de la Nación Argentina.

[17] Disposición Nro. 182-R/2016, “Reconocimiento del LEME de la Facultad de Ingeniería (UNLP) para la realización de ensayos en aplicación del régimen de certificación obligatoria, según la Resolución Nro. 896/99 (S. I. C y M. N.) de Indumentaria de protección contra riesgos eléctricos”, Dirección Nacional de Comercio Interior, Ministerio de Producción de la Nación Argentina.

[18] ETAP 19.0, Software para Sistemas Eléctricos de Potencia, Módulo para Análisis de Arco Eléctrico (https://etap.com/es/product/arc-flash-software).

[19] BSD-Dresden Arc Flash Software (https://www.bsd-dresden.de/en/bsd-arc-flash-software.html).

[20] DIgSILENT PowerFactory, Arc-Flash Analysis tool (https://www.digsilent.de/en/arc-flash-analysis.html).

Efecto del Control Activo de Potencia sobre las Cargas Mecánicas en Aerogeneradores

Ibáñez, Bernabé & Inthamoussou, Fernando A. & De Battista, Hernán
Grupo de Control Aplicado (GCA), Instituto LEICI (UNLP-CONICET), Facultad de Ingeniería, UNLP

Palabras clave— aerogeneradores, turbina eólica, análisis de cargas, control activo de potencia, fatiga.

1. Introducción

En la actualidad, la penetración de la energía eólica en las redes eléctricas está en crecimiento, representando el 16 % de la energía utilizada en 2020 en los países que comprenden la Unión Europea, con un máximo de penetración en Dinamarca, del 48 % [1]. Este aumento en la energía eólica instalada hace necesario que los parques presenten controles cada vez más restrictivos, similares a los que se les solicitan a las plantas de energía tradicionales.

Existe además un creciente interés en equipar a las turbinas con Control Activo de Potencia (CAP). El CAP permite a los parques eólicos satisfacer la demanda de energía ajustando la potencia de las turbinas en vez de prenderlas y apagarlas completamente. Este método introduce menos perturbaciones a la red y provee además una mayor capacidad de soporte. El CAP requiere que la turbina opere sobre una región extendida y con un sistema de control de acuerdo a esta nueva estrategia de control. Para esto, es necesario que se adecuen los sistemas de control existentes.

En la literatura existe una importante tendencia en esta línea de investigación: en [2] se plantea un controlador Control Predictivo basado en Modelos (MPC) para seguir una referencia de potencia a nivel parque eólico con CAP, mientras que en [3] se presenta un CAP coordinado combinando control de pitch y control de velocidad de rotor de la turbina. Por otro lado, en [4] se propone usar la energía cinética del rotor para regular su velocidad y disminuir la actividad de pitch necesaria para seguir la referencia de potencia CAP. El controlador de pitch Lineal de Parámetros Variables (LPV) con región de trabajo extendida para funcionar con CAP que se utilizará en las simulaciones de este trabajo fue presentado en [5].

El aumento de la energía eólica no solo está dado por la cantidad de parques eólicos alrededor del mundo, sino también por la construcción de turbinas cada vez más grandes. A medida que el tamaño de las turbinas eólicas aumenta, se utilizan materiales más flexibles y livianos, haciendo necesario tener en cuenta los esfuerzos mecánicos a los que se exponen. En particular, esto da suma importancia a la posible ruptura por fatiga de algunos componentes de las turbinas. El objetivo de este trabajo será analizar el efecto del CAP sobre las cargas mecánicas de los componentes de la turbina frente a diferentes escenarios, variando los niveles de demanda de potencia.

2. Desarrollo y Discusión

En esta sección se describe brevemente el planteamiento de la problemática, se abordan las herramientas utilizadas, y por último se presentan y discuten los resultados obtenidos.

2.1. Planteamiento del problema

El modelo de turbina utilizado en las simulaciones consiste en el desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) con potencia nominal de 5MW. Esta turbina está diseñada con una configuración clásica de pitch (to feather) y velocidad variables. La estrategia habitual de control para esta configuración utiliza dos sistemas básicos: un controlador de par del generador de la turbina y otro de pitch colectivo. Los dos sistemas de control están diseñados para trabajar por separado la mayor parte del tiempo.

Esta estrategia se corresponde con la curva definida por los puntos A-B-C-N-M en la Fig. 1, presentando las regiones de operación:

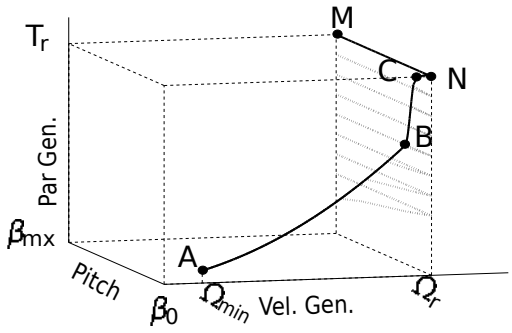


Figura 1: Par del generador vs velocidad de rotación de la turbina para las distintas regiones de operación.

En la Región 1 (A-B), el controlador de pitch se encuentra saturado en el valor óptimo de pitch y el controlador de par tiene como objetivo la máxima extracción de potencia.

La Región 2 (B-N) es una región de transición entre los dos sistemas de control principales. Esta región es crítica ya que en ella se limita la velocidad de rotación, pero no se la mantiene fija, y al mismo tiempo se controla el par del generador.

En la Región 3 (N-M) el controlador de pitch actúa regulando la velocidad de rotación de la turbina para mantenerla en su valor nominal, mientras el controlador de par lo mantiene constante en su valor nominal.

El controlador utiliza además un compensador Anti-windup para la zona de transición.

Como se anticipó, para el CAP es necesario que las regiones de trabajo del controlador sean extendidas (Fig. 1). Estas nuevas regiones resultan:

- Región 1e Esta región es esencialmente la misma que antes, a excepción de que la transición puede ocurrir antes de alcanzar el punto B ya que la demanda de potencia puede ser menor a la que corresponde a B.
- Región 2e Esta región está formada ahora por todo lo comprendido debajo de la curva A-N en el plano de par-velocidad de rotación. Una vez que se alcanza la demanda de potencia, el punto de operación se mueve sobre la hipérbola de potencia constante hasta alcanzar la velocidad nominal.
- Región 3e Formada por el área bajo la línea N-M en el plano par-pitch, las palas varían su ángulo de pitch para que la turbina produzca la potencia solicitada a velocidad nominal de rotación.

En este trabajo se considerarán cuatro niveles de demanda de potencia: 100 % de la potencia disponible, es decir, la demanda típica (curva A-B-C-N-M), 80 %, 60 % y 40 % de la potencia disponible.

Se toma como potencia disponible máxima en todos los casos a la potencia nominal de la turbina.

2.2. Análisis de Cargas

El objetivo de este trabajo es cuantificar el efecto del CAP en las cargas mecánicas de la turbina. Esto se realiza siguiendo lineamientos del estándar de la IEC [6], y considerando los casos más relacionados con el control.

La fatiga puede producir la falla de un componente debido a la acumulación de daño generado por las cargas oscilantes. Este daño puede calcularse separando las cargas en ciclos de histéresis individuales, tomando pares de mínimos y máximos locales (algoritmo conocido como Rain-flow counting (RFC), [7]). A estos ciclos de carga se los puede caracterizar por su valor medio y amplitud. Se asume que el daño en cada ciclo se acumula linealmente de acuerdo a la Regla de Palmgren-Miner (conocida comúnmente como Regla de Miner) [8]. Es importante notar que aunque la Regla de Miner asume que la falla en la estructura se dará cuando el daño sea igual a uno ($D = 1$), el estudio realizado por Veers [9] muestra que el daño calculado en el momento de la falla, varía ampliamente para turbinas eólicas. De esta forma, las turbinas pueden fallar para valores de D entre 0.79 y 1.53. Esto implica que pueden encontrarse, e incluso deberían esperarse, diferencias entre las predicciones de daño y el tiempo de vida de una turbina hasta en un factor de dos.

En la práctica, con el objetivo de estimar el daño a lo largo del tiempo de vida de la turbina, se utilizan varias series temporales alrededor de cada media de viento. Para realizar esta estimación, se simula a la turbina por un tiempo limitado, notablemente menor que el tiempo de vida de la turbina, pero suficiente para que las cargas analizadas en estas series temporales puedan extrapolarse y ser representativas de las cargas a las que se expone la turbina en toda su vida útil [6].

Estos cálculos fueron realizados utilizando MLife, un software que utiliza como archivos de entrada las series temporales generadas por FAST. En particular, para realizar el análisis de fatiga a lo largo de la vida útil de la turbina, la Norma de la IEC [6] establece que deben obtenerse 6 series temporales de 10 minutos cada una, para cada media de viento.

Con el objetivo de poder realizar comparaciones entre diferentes espectros de carga, se definen las Damage Equivalent Load (DEL). Una DEL es una carga de amplitud y frecuencia constantes (alrededor de un valor medio establecido), de forma tal que, aplicada al mismo componente y durante el mismo tiempo, produzca el mismo daño que el espectro de cargas variables que se está analizando. En particular se define una DEL para cada serie temporal analizada y para cada media de viento.

Con el objetivo de cuantificar las cargas mecánicas obtenidas en forma resumida, se introduce el concepto de Lifetime Damage Equivalent Load (LDEL). Similar a la DEL pero extrapolada a lo largo del tiempo de vida de la turbina (teniendo en cuenta la distribución anual de vientos), la LDEL es una carga de frecuencia y amplitud de oscilación fijas que infringe el mismo daño que el espectro de cargas frente al que se expuso a la turbina a lo largo de todas las series temporales analizadas, para un dado componente.

2.3. Resultados

En este trabajo se considera que el viento anual tiene una distribución de Rayleigh con media igual a $8,5\ m/s$ y una turbulencia de Clase B. Vientos con estas características se pueden encontrar en nuestro país, por ejemplo, en el sur de la provincia de Buenos Aires [10]. Se analiza el Design Load Case (DLC) 1.2 de la Norma de la IEC [6]: funcionamiento normal de la turbina con vientos turbulentos. El controlador utilizado en las simulaciones consiste en un controlador LPV definido en [5].

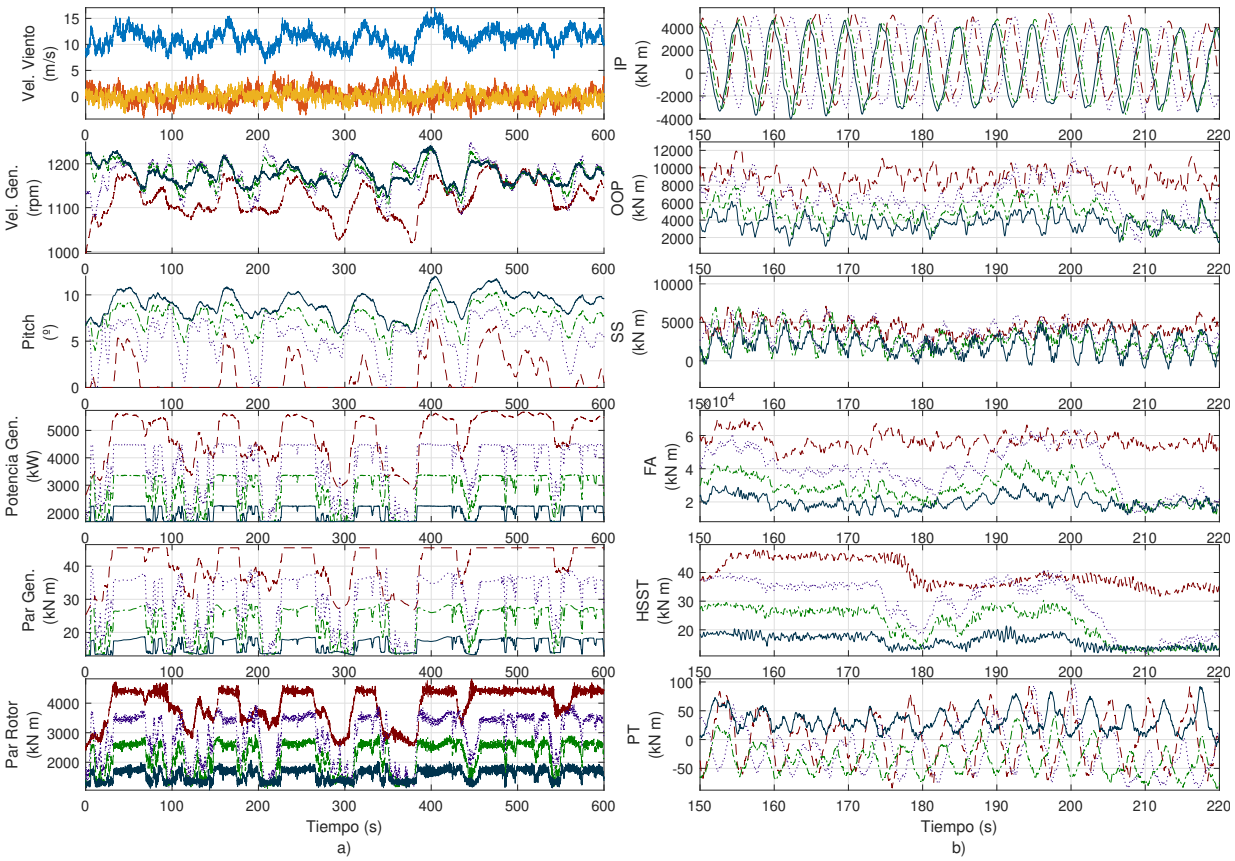


Figura 2: Respuesta de la turbina controlada por el LPV a un viento turbulento con $\overline{v} = 11m/s$ para los cuatro niveles de demanda de potencia considerados: 100 % en rojo, 80 % en azul, 60 % en verde y 40 % en aqua.

2.3.1. Simulaciones

Las simulaciones fueron realizadas con el simulador aeroelástico FAST, sobre la turbina de 5MW definida por el NREL en [11] con vientos turbulentos tridimensionales con valor medio de velocidad de la componente principal entre 3 y 25 m/s, y de 0 m/s para las otras dos componentes. Se utilizó un paso de 1m/s. Se generaron 6 archivos de 10 minutos cada uno para cada velocidad de viento media utilizando el software Turbsim [12] que utiliza el modelo de Kaimal, uno de los aceptados por el IEC [6] dando un total de 138 archivos de viento. Se simuló la turbina de 5MW en su configuración On-Shore y todos los grados de libertad activados.

Se ejecutaron en total 552 simulaciones, es decir, cuatro veces con cada serie de perfiles de viento, utilizando en cada una de ellas distintos niveles de referencia de potencia (100 %, 80 %, 60 % y 40 %) para obtener resultados sobre cómo afecta el CAP a las cargas de la turbina.

En las Figs. 2 y 3 se presenta la respuesta de la turbina ante perfiles de viento turbulento con $\overline{v} = 11m/s$ y $\overline{v} = 9m/s$, respectivamente. En ambos casos las curvas corresponden a la evolución temporal de las variables de la turbina con diferentes niveles de referencia de potencia (100 %, 80 %, 60 % y 40 %). En a) se muestran, de arriba hacia abajo: La velocidad de viento (en sus tres direcciones), la velocidad de rotación del generador, el ángulo de pitch, la potencia en el generador, el par del generador, y por último, el par en el rotor de la turbina. En b), de arriba hacia abajo: Blade Root In Plane Bending Moment (IP), Blade Root Out of Plane Bending Moment (OOP), Tower base Side-to-side Bending Moment (SS), Tower base Fore-aft Bending Moment (FA), High Speed Shaft Torque (HSST) y Blade Root Pitching Bending Moment (PT).

Resulta interesante ver el comportamiento de la turbina alrededor de $\overline{v} = 11m/s$ (Fig. 2) ya que la turbina se encuentra operando en lo que habitualmente es su región de transición. Aquí vemos que la diferencia con la operación típica es que al estar operando con CAP, el punto de transición entre los dos sistemas de control de la turbina depende de la demanda de potencia. Es por esto que, por ejemplo, se observa que a lo largo de esta simulación, la turbina con referencia de potencia del 40 % y del 60 % no necesita bajar el pitch a 0º, manteniendo así su potencia de salida más estable y dando además como resultado menores cargas mecánicas que los otros dos casos. Para esta velocidad media de viento, resulta que los mayores esfuerzos mecánicos los encontramos para la turbina operando al 100 % de su potencia nominal, lo que es lógico, pues coincide con su región de transición.

En la Fig. 3 se puede observar que la turbina se encuentra próxima a su región de transición en las curvas correspondientes a las referencias de potencia de 60 % y 80 %. Esto da como resultado una mayor actividad de pitch para estos casos. La turbina funcionando al 100 % se encuentra en Región 1e (extracción máxima de potencia), casi sin necesidad de activar el pitch, mientras que la del 40 % se encuentra la Región 3e. Se puede obsevar cómo para

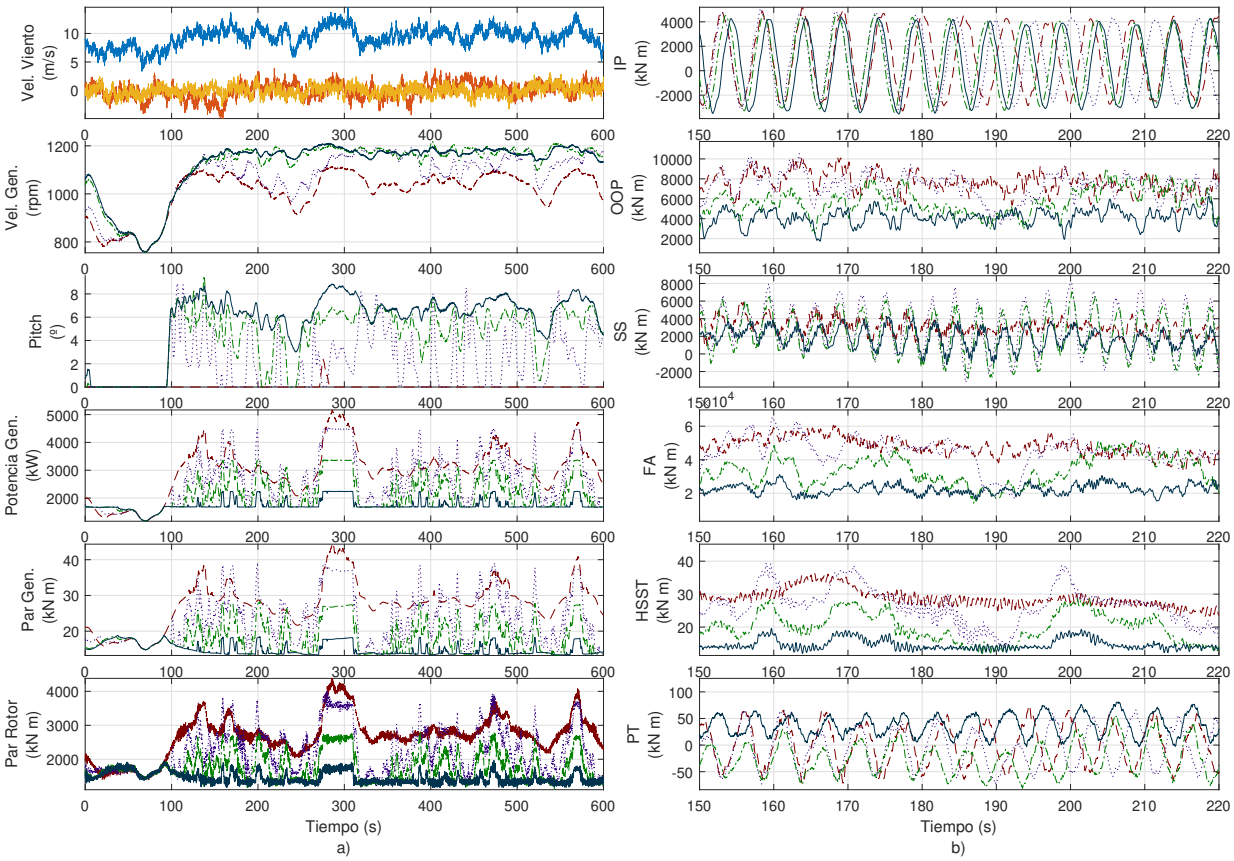


Figura 3: Respuesta de la turbina controlada por el LPV a un viento turbulento con $\overline{v} = 9m/s$ para los cuatro niveles de demanda de potencia considerados: 100 % en rojo, 80 % en azul, 60 % en verde y 40 % en aqua.

Tabla 1: LDELs Normalizadas. Controlador LPV.

Referencia (%Pn)	OOP	PT	FA	SS
80	0,9762	0,8633	1,0533	1,0268
60	0,8451	0,7683	0,9726	0,9948
40	0,7866	0,7423	0,943	0,9817

una misma velocidad de viento, un mayor ángulo de pitch promedio se traduce en un menor OOP.

Este primer análisis puede inducir a evaluar la posibilidad de operar a la turbina con diferentes niveles de referencia de potencia en función de la velocidad media de viento, con el objetivo de disminuir las cargas mecánicas y mejorar la calidad de la potencia generada.

2.3.2. Comparación de cargas

En la Fig. 4 se pueden ver las DEL calculadas para los OOP, PT, FA y SS con los cuatro niveles de referencia de potencia. En a) se observan las DEL sin tener en cuenta la distribución de viento anual, y en b) pesadas por una distribución de Rayleigh de media anual de viento $8,5m/s$ y normalizadas con respecto a la DEL obtenida con la turbina simulada a la velocidad de viento nominal.

En la Fig. 4 a) se observa que para las cargas sobre las palas, sus máximos locales se desplazan hacia la izquierda a medida que se disminuye la potencia de referencia. Esto coincide con lo esperado, ya que cuanto menor sea la potencia solicitada, la región de transición se encontrará a menores velocidades de viento.

En la Tabla 1 se presentan las LDELs obtenidas. Sus valores están normalizados respecto de las LDELs halladas para cada carga con la turbina funcionando al 100 %. La acción suave del controlador LPV sobre el pitch resulta en que las cargas en las palas disminuyan junto a la referencia de potencia, mientras por otro lado, como se puede observar también en la Fig. 4, se ve un deterioro en las cargas de la torre cuando la potencia solicitada es 80 % respecto de la referencia del 100 % de potencia disponible. Para las menores referencias de potencia, estas cargas vuelven a disminuir.

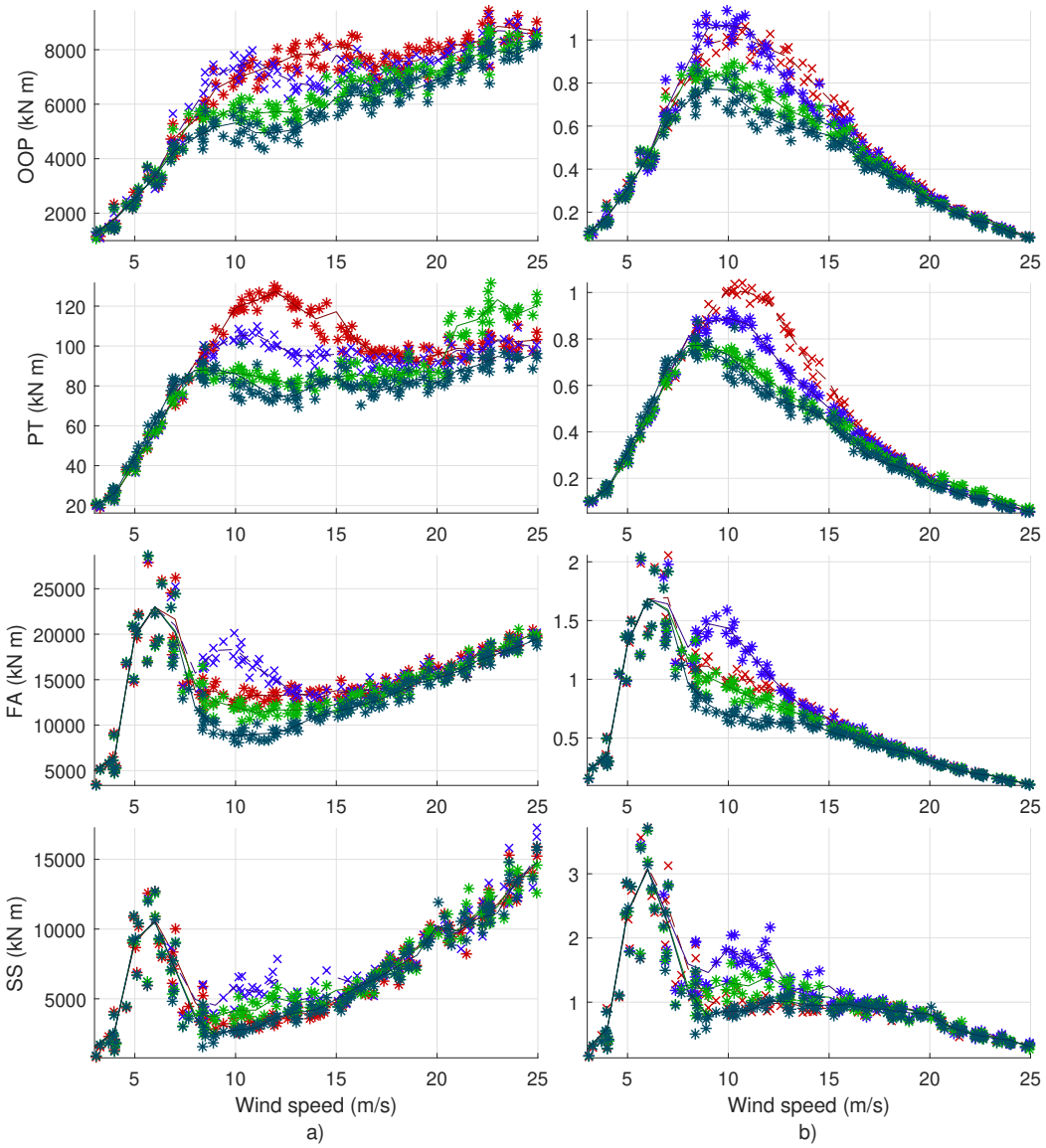


Figura 4: DELs de cada serie temporal en cruces/asteriscos, y de cada media de viento en línea a trazos/sólida para el controlador LPV. De arriba hacia abajo: Blade Root Out of Plane y Pitching Bending Moments, Tower Base Fore-aft y Side-to-side Bending Moments. Los cuatro niveles de referencia de potencia considerados: 100 % en rojo, 80 % en azul, 60 % en verde claro y 40 % en aqua.

3. Conclusiones

Del análisis realizado se puede concluir que el CAP afecta directamente a las cargas mecánicas de la turbina. Dependiendo de la solicitación de potencia, los esfuerzos mecánicos a los que se expone la turbina varían de distinta forma. Con el controlador estudiado, un plan de referencia del 80 % resulta en una disminución de las cargas en las palas pero en un aumento de las cargas en la torre. Esto da lugar a consideraciones de diseño, ya que podría reducirse el costo de los materiales de las palas para aumentar la durabilidad de la torre haciéndola más resistente a dichas cargas, si se planeara utilizar una turbina con este esquema de reserva.

Como trabajo a futuro, estos resultados motivan el diseño de un controlador tal que la turbina pueda funcionar con CAP sin perjudicar ninguna de las cargas mecánicas, es decir, concentrándose principalmente en reducir los esfuerzos mecánicos de la torre al introducir CAP.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por UNLP (11/I216), ANPCyT (PICT 2015-3586) y CONICET (PIP 112-201501-00837).

Referencias

[1] I. Komusanac, G. Brindley, and D. Fraile, "Wind energy in europe," WindEurope, Tech. Rep., 2021. 1

[2] M. Vali, V. Petrovic, S. Boersma, J.-W. van Wingerden, L. Y. Pao, and M. Kuhn, "Model predictive active power control of waked wind farms," in *2018 Annual American Control Conference (ACC)*. IEEE, jun 2018. 1

[3] H. Luo, Z. Hu, H. Zhang, and H. Chen, "Coordinated active power control strategy for deloaded wind turbines to improve regulation performance in AGC," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 98–108, jan 2019. 1

[4] X. Tang, M. Yin, C. Shen, Y. Xu, Z. Y. Dong, and Y. Zou, "Active power control of wind turbine generators via coordinated rotor speed and pitch angle regulation," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 10, no. 2, pp. 822–832, apr 2019. 1

[5] F. A. Inthamoussou, H. D. Battista, and R. J. Mantz, "LPV-based active power control of wind turbines covering the complete wind speed range," *Renewable Energy*, vol. 99, pp. 996–1007, dec 2016. 1, 2

[6] I. E. Commission, "Iec 61400-1: Wind turbines part 1: Design requirements," International Electrotechnical Commission, Tech. Rep., 2005. 2, 3

[7] S. D. Downing and D. F. Socie, "Simple rainflow counting algorithms," *International Journal of Fatigue*, vol. 4, no. 1, pp. 31–40, Jan. 1982. 2

[8] A. A. Miner, "Cumulative damage in fatigue," *ASME, Vol. 67*, 1945. 2

[9] P. Veers, "Simplified fatigue damage and crack growth calculations for wind turbines," vol.-1, Jan. 1988. 2

[10] L. V. Clementi, "Energía eólica y territorios en argentina: proyectos en el sur de la provincia de buenos aires entre fines del siglo xx y principios del siglo xxi," Ph.D. dissertation, Universidad Nacional del Sur, 2017. 2

[11] J. Jonkman, S. Butterfield, M. Musial, and W. Scott, "Definition of a 5-mw reference wind turbine for offshore system development," National Renewable Energy Laboratory (NREL), Tech. Rep., 2009. [Online]. Available: https://www.nrel.gov/docs/fy09osti/38060.pdf 3

[12] B. Jonkman, "Turbsim," National Renewable Energy Laboratory (NREL), Tech. Rep., 2016. [Online]. Available: https://nwtc.nrel.gov/TurbSim 3

GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LAS OLAS: UN DESAFÍO INTERDISCIPLINARIO

Mosquera, Facundo D.; Evangelista, Carolina A.; Puleston, Paul F.
Instituto de Investigaciones en Electrónica, Control y Procesamiento de Señales; LEICI; UNLP y CONICET; Calle 48 y 116, CC 91 (1900); La Plata – Buenos Aires – Argentina.
contacto: facundo.mosquera@ing.unlp.edu.ar

Introducción

Las jornadas de la facultad de ingeniería son el espacio perfecto para que los institutos que forman parte de la universidad den a conocer sus trabajos en curso. En esta ocasión, el trabajo que se presenta tiene ese objetivo y se diseñó para mostrar, difundir e incentivar a las distintas ramas de la ingeniería que se forman en esta facultad a que conozcan la generación de energía de las olas, o también llamada energía undimotriz.

El trabajo se realiza desde el punto de vista de un ingeniero en electrónica, por lo tanto, lo presentado tendrá ese sesgo y los temas que escapan al alcance de la carrera tendrán sus correspondientes falencias. Por este motivo, si a algún lector de este trabajo se interesa en la temática, desde nuestro grupo de trabajo estaremos disponibles para entablar una comunicación.

Desarrollo y Discusiones

En esta sección se presentarán las distintas etapas en las que se puede separar el estudio de los sistemas de extracción de energía undimotriz. Cada subsección tendrá en su título la carrera que los autores consideran apta para trabajar con la temática, sin embargo, otras carreras no nombradas también pueden aportar en cada etapa del modelado.

Generación de las olas (Ingeniería Hidráulica, Civil)

Cualquiera que haya estado observando las olas desde la playa y vea el daño que provocan a las estructuras costeras se da cuenta de la gran cantidad de energía que ellas pueden contener. Sin embargo, para capturar esa energía es necesario entender algunas características diferentes a lo ya conocido con respecto a la industria marítima. Es por eso que esta temática presenta nuevos desafíos para la investigación.

Transporte de energía

Una ola puede ser vista como una onda que trasporta energía desde un punto al otro. Uno puede observar una ilustración de este fenómeno cuando arroja una piedra sobre un lago de aguas calmadas. Un patrón de olas se forma de manera radial alrededor del lugar donde cayó la piedra. Esos valles y crestas que viajan en círculos que se expanden, se hacen más pequeños a medida que se alejan del punto de generación. En este caso, esas ondas llevan una porción de la energía cinética que traía la piedra al caer al agua. Un fenómeno similar ocurre cuando el viento sopla sobre una región de la superficie del océano, generando olas que son más rápidas y largas de acuerdo con la intensidad del viento [1].

Proceso de generación de las olas

Si se lo analiza en gran detalle, las olas siempre comienzan como pequeñas oscilaciones. Las cuales van aumentando de tamaño a medida que el viento se mantiene transmitiendo energía al mar. Esto continúa hasta que llega un punto en que las olas no pueden crecer más, porque empiezan a perder energía, en ese momento se las considera que están completamente desarrolladas. Considerar o no a un mar completamente desarrollado depende de la velocidad y la distancia (*fetch*) sobre la cual el viento está soplando. Sin embargo, cuando el viento deja de soplar, las olas continúan existiendo y pueden viajar largas distancias con una reducida pérdida de energía (cuando se encuentran en aguas profundas). En este último estado, normalmente se las considera olas *swell* porque el viento responsable de su generación ya no se encuentra presente. Por lo tanto, se definen olas locales cuando el viento responsable de su generación se encuentra presente y olas *swell* cuando fueron creadas por un viento que ya no está [2].

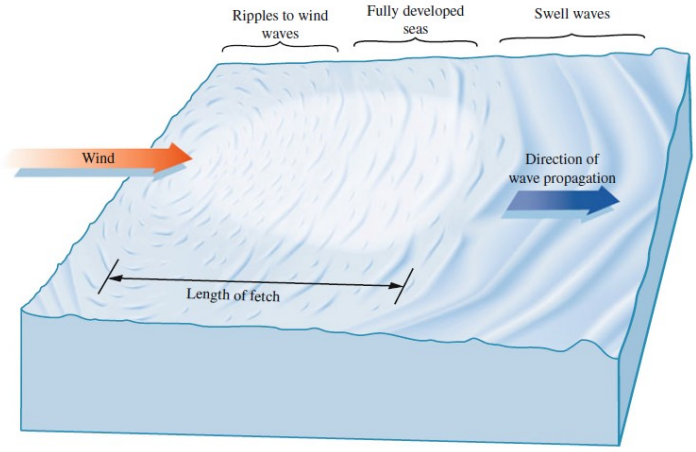


Figura 1: Proceso de generación de las olas [2].

Modelado de las olas

En su representación más simple e intuitiva, las olas se modelan como una onda sinusoidal con un período T y una altura H únicas. Sin embargo, para representar el clima de ola de un determinado lugar, se utiliza el espectro de amplitudes de ola, que es la descripción más efectiva disponible [1]. Este espectro se define con la altura significativa, H_s, y el período pico, T_p. El primero se determina a partir del promedio del primer tercio de las olas más grandes (definición que se hereda de la época cuando la altura de ola la medían personas que observaban el mar) y el segundo está asociado (de manera inversa) a la frecuencia del espectro donde éste tiene su valor máximo.

Convertidores de energía de olas (Ingeniería Civil, Hidráulica, Mecánica, en Energía Eléctrica)

La historia relacionada con los dispositivos diseñados para aprovechar la energía de las olas tiene sus inicios hace más de doscientos años. La primer patente adjudicada a un proyecto relacionado con el diseño de una máquina de olas fue otorgado a Monsier Girard y su hijo en París allá por el 1799. La propuesta de Girard se basaba en utilizar el movimiento oscilatorio de los buques de guerra franceses, atracados en el muelle, para generar energía mecánica y mover bombas, sierras u otros elementos mecánicos. Luego, ya para 1973 existían más de mil patentes relacionadas con la extracción de energía de las olas [3].

Debido a la gran cantidad de dispositivos es común clasificarlos en función de su principio de funcionamiento y su ubicación con respecto a la costa. El principio de operación puede ser descripto de varias maneras, sin embargo, el Centro Europeo de Energía Marina (EMEC en inglés) recomienda el siguiente [3]:

- Atenuador: Es un dispositivo flotante largo y fino, con su dimensión más larga alineada para que se encuentre paralela a la dirección de las olas. Típicamente, es una estructura articulada que parece una serpiente. Está compuesta por varias secciones que se doblan (o tuercen) cuando las olas pasan a través de ellas. Estos dispositivos extraen energía del movimiento relativo entre los cuerpos que lo componen, que se mueven en diferentes sentidos con el paso de la ola. Figura 2a), convertidor de ola *Pleamis.*
- Absorbedor puntual (boya): Es una estructura flotante que absorbe energía en todas las direcciones a partir de sus movimientos sobre la superficie del agua. Convierte el movimiento relativo entre la boya superior y su base en energía eléctrica. Figura 2b), convertidor de ola de *Ocean Power Technologies.*
- Oscilador de empuje de ola: Consiste en un módulo anclado en el fondo del mar que oscila empujado por las olas, su forma más común es la de una paleta. Al oscilar, acciona unos pistones hidráulicos, los cuales a su vez entregan el agua de mar presurizada a una unidad de transformación hidroeléctrica terrestre. Figura 2c), convertidor de ola *Oyster Wave Power.*
- Columna de agua oscilante: Están considerados como una de las mejores técnicas para convertir la energía de las olas en electricidad. Será descripto en la próxima subsección.

- Colector de ola: Estos dispositivos capturan la energía de un frente de olas mediante un colector de olas, el cual se asemeja a una pileta, para mover una o varias turbinas hidráulicas de salto reducido denominadas turbinas Kaplan. Figura 2d), convertidor de ola *Wave Dragon*.
- Diferenciador de presión sumergido: Estos dispositivos se ubican típicamente cerca de la costa y son fijados en el lecho marino. El movimiento de las olas causa que el nivel del mar se incremente y decaiga por encima del dispositivo, induciendo una presión diferencial en el mismo. Esta variación en la presión empuja el fluido a través de un sistema que genera electricidad. Figura 2e), convertidor de ola *Ceto WEC.*
- Masa rotante: Este dispositivo utiliza dos formas de rotación para capturar energía a través del movimiento, la de oscilación y la de flotación. Este movimiento se translada a un peso excéntrico o un a giroscopio de preseción. En ambos casos, el movimiento está acoplado a un generador eléctrico dentro del dispositivo. Figura 2f), Convertidor de ola *Inertial Sea Wave Energy Converter.*
- Otros: En esta categoría se cubren los dispositivos que tienen un diseño único y muy diferente a las tecnologías anteriores.

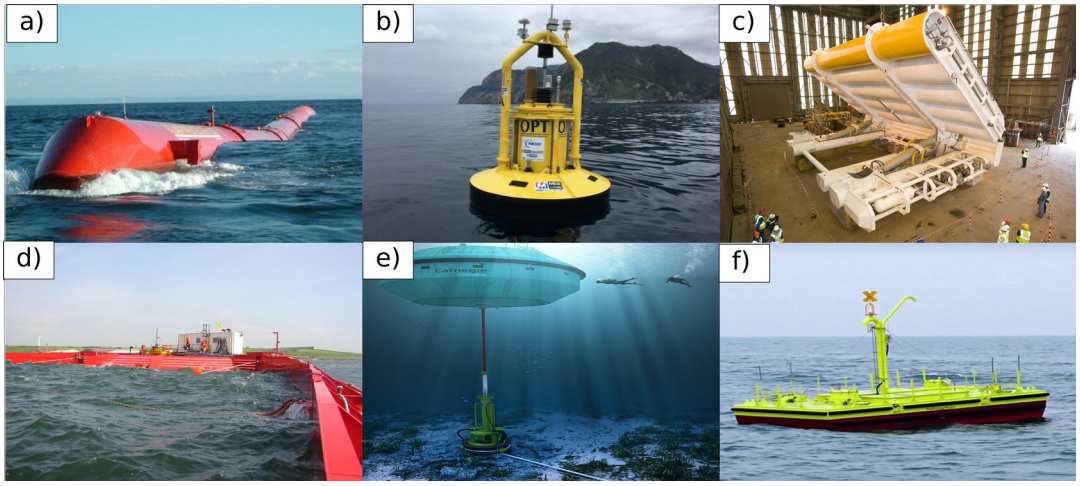


Figura 2: Convertidores de ola con diferente principio de operación [3].

Convertidor basado en columna de agua oscilante

Este convertidor está compuesto por una estructura hueca que tiene un orificio por debajo del nivel del agua y otro en su parte superior. Las olas entran y salen por el orificio inferior provocando una variación de presión del aire encerrado por la cámara. Esta variación de presión, genera un flujo de aire bidireccional que mueve una turbina autorrectificante conectada a un generador eléctrico. Que la turbina sea autorrectificante significa que va a girar siempre para el mismo lado independientemente del sentido del flujo de aire.

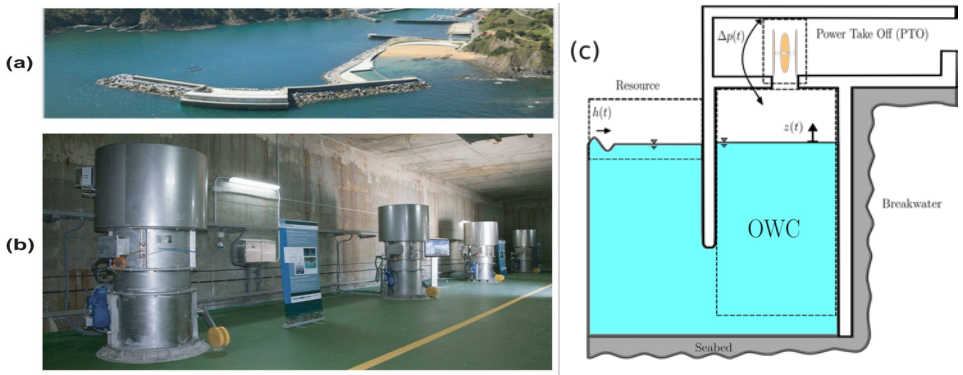


Figura 3: a) Planta de extracción de energía de olas en Mutriku. b) Imagen del sistema de extracción de potencia (turbina-generador) de la planta undimotriz de Mutriku. c) Esquema representativo de un sistema de columna de agua oscilante incluido en una escollera.

Tipos de turbinas (Ingeniería Mecánica y Aeronáutica)
La mayoría de las turbinas autorrectificantes diseñadas para la conversión de energía de las olas son maquinas de flujo axial, sin embargo, hace pocos años se diseñó una alternativa de flujo radial. Las opciones más utilizadas actualmente son [4],[5]:

- Turbina Wells (Figura 4a)): Compuesta por un perfil de palas simétricas colocadas de manera perpendicular con respecto al eje del rotor. Su construcción es económica y tiene las velocidades de rotación más altas para las turbinas autorrectificantes, llegando a los 2000rpm.
- Turbina de impulso autorrectificante (Figura 4c)): Esta turbina es la alternativa más frecuente a la turbina Wells. La turbina de impulso las palas del rotor forman canales o ductos, provocando que el ángulo de salida del flujo de aire sea aproximadamente igual al ángulo de salida de las palas. La geometría de las palas del rotor es una versión modificada de las turbinas impulsadas por vapor.
- Turbina biradial (Figura 4 c)): Recientemente diseñada, esta turbina trabaja con un flujo aire que entra y sale del rotor de manera radial. El rotor está rodeado por guías de flujo radiales, que mejoran la circulación de aire por la turbina.

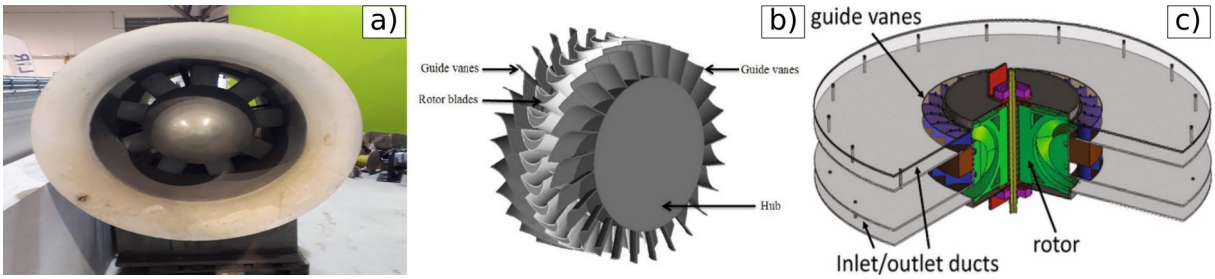


Figura 4: a) Turbina Wells. b) Turbina de impulso [4]. c) Turbina biradial [5].

<u>Propuesta de control – Extracción de energía (Ingeniería en Energía Eléctrica, en Electrónica y en Automatización y Control)</u>
En nuestro grupo de investigación, perteneciente al instituto LEICI de la Facultad de Ingeniería, se está trabajando actualmente en estrategias de control para un convertidor de ola de columna de agua oscilante. El sistema con el cuál se está trabajando actualmente se compone de un una turbina Wells y un generador sincrónico de imán permanente [6]. Sin embargo, previamente ha se ha estado trabajando con la misma turbina y un generador de inducción doblemente alimentado [7]. La propuesta desarrollada en este grupo de investigación busca maximizar la extracción de potencia mecánica en la turbina, de manera tal de obtener luego un máximo de extracción de energía global desde la ola a la red de energía eléctrica, a la cual estos dispositivos se conectan. El esquema sobre el cual se propuso la técnica de control se muestra en la Figura 5. La técnica utilizada para llevar adelante el objetivo, en esta nueva propuesta, fueron los modos deslizantes de segundo orden adaptables y en particular el algoritmo de *Twisting* adaptable basado en el enfoque de Bartolini, Pisano y Ferrara [8].

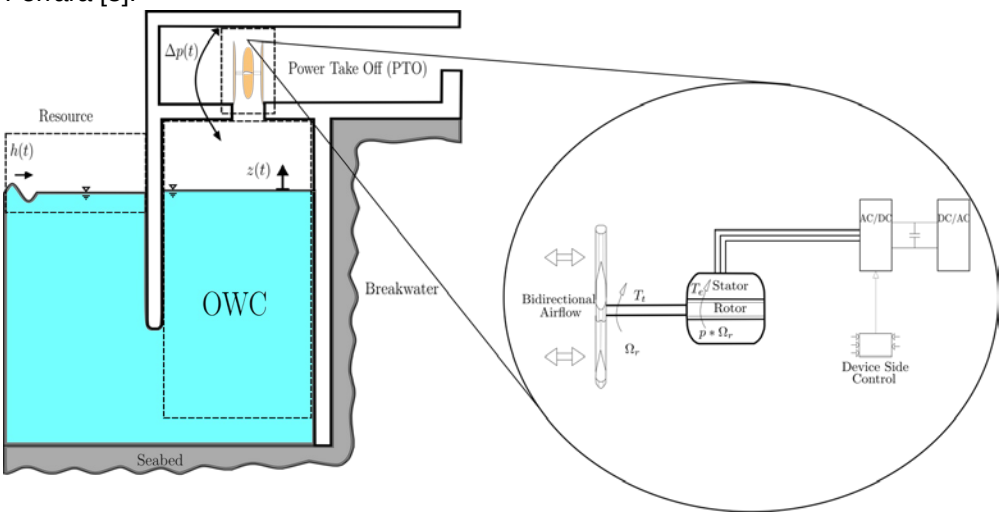


Figura 5: Esquema del sistema a controlar

El algoritmo de control tiene la siguiente forma:

$$v_{ASM}(\sigma) = -\alpha_T W^j sign(\sigma) - W^j sign(d\sigma/dt)$$

donde v_{ASM} es la acción de control, α_T una ganancia multiplicativa, W^j la ganancia a actualizar y σ la variable de deslizamiento, que es donde se define el objetivo a cumplir por la acción de control. El controlador está basado en contar la cantidad de cruces por cero que tiene la variable de deslizamiento durante un tiempo fijo de ventana, esa cuenta se compara contra un umbral previamente definido por el diseñador del controlador. Si la cuenta es superior que el umbral, significa que el control puede relajarse y se reduce la ganancia. En cambio, si la cuenta queda por debajo del umbral es necesario aumentar la ganancia porque el sistema podría estar perdiendo el control.

Resultados

Aplicando la acción de control diseñada en la subsección anterior al sistema de columna de agua oscilante se obtuvieron los resultados de la Figura 6.

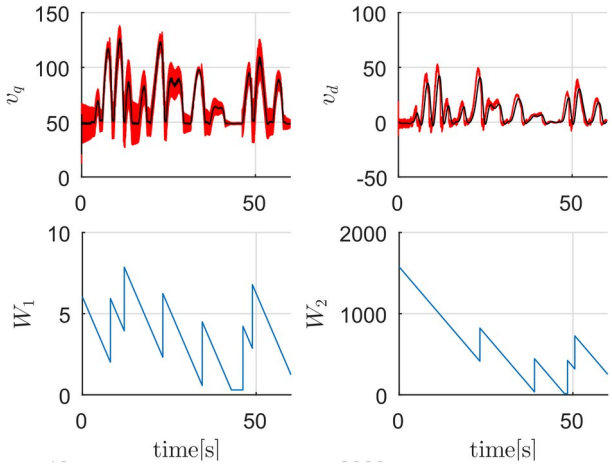


Figura 6: Acciones de control y ganancias variables

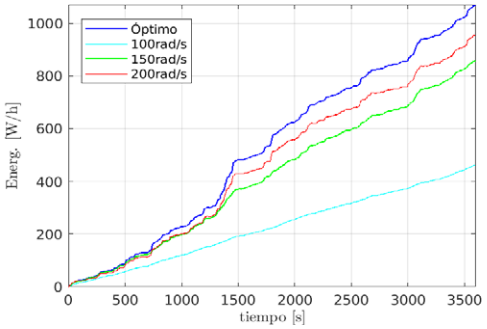


Figura 7: Energía generada con el objetivo propuesto (azul) y con otras propuestas de la bibliografía (resto de los colores).

En la primer fila de resultados se pueden observar las acciones de control utilizadas, el diseño de control se realizó el en plano d-q del generador eléctrico y por ese motivo se tiene una tensión de control en cuadratura y otra tensión de control directa. Las acciones de control se encargan de asegurar el cumplimiento de los objetivos propuestos. Estos objetivos fueron: maximizar la potencia mecánica extraída de la turbina realizando un seguimiento de velocidad óptima y regular la corriente directa en cero para reducir las oscilaciones en la cupla electromecánica. Finalmente, la tercer fila de la Figura 6 muestra el comportamiento de las ganancias del controlador, las cuales se van modificando de acuerdo con la necesidad del control de volverse más agresivo (aumentar ganancias) o su posibilidad de relajarse (reducir ganancias). Los resultados obtenidos demuestran que el esquema de control es apropiado para cumplir con los objetivos propuestos.

Por otra parte, en la figura 7 puede observarse la energía extraída del sistema en una simulación de una hora. En esta figura se realizó una comparación del método propuesto que realiza un seguimiento del optimo y distintas propuestas que se encuentran el la bibliografía que buscan regular la velocidad de rotación en un valor fijo.

Conclusiones

Este trabajo se realizó para dar a conocer a la comunidad que integra la facultad de ingeniería un desafío altamente interdisciplinario como lo es la extracción de energía de las olas. Argentina tiene una gran extensión costera y el desarrollo de sistemas que aprovechen nuevas energías alternativas, que además se complementan muy bien con las energías explotadas actualmente como lo son el viento y el sol, genera un alto valor para la matriz energética del país. Es importante que los ingenieros sean quienes lleven adelante este tipos de desarrollos y para hacerlo es necesario una coordinación interdisciplinaria, para la cual las Jornadas ITE son un gran punto de encuentro. Por ese motivo, en esta publicación se recorrió la generación de la ola, pasando por los dispositivos que pueden aprovecharla y llegando a un ejemplo del funcionamiento de un dispositivo en particular que puede aprovechar esa energía. Desde el instituto LEICI hace cuatro años que se viene trabajando con este tipo de sistemas y actualmente se han realizado conexiones con la universidad de Quilmes, la Universidad de Maynooth en Irlanda y el Politécnico di Torino en Torino, Italia. Sin embargo, para poder completar los desafíos necesarios para el desarrollo de estos sistemas se necesita la participación de especialidades de todas las ramas de la ingeniería. Por estos motivos esperamos que este trabajo despierte el interés por la generación de energía undimotriz.

Bibliografía

[1] U. Korde and J. Ringwood. *Hydrodynamic Control of Wave Energy Devices*. Cambridge University Press: Cambridge. 2017

[2] M. Folley. "*The Wave Energy Resource"* in *Handbook of Ocean Wave Energy.* Ch.3. Springer International Publishing. 2016

[3] P. A. Lynn. *Electricity from Wave and Tide.* Wiley. 2013

[4] A. Falcao and J. Henriques. "Oscillating-water-column wave energy converters and air turbines: A review". Renew. Energy , Vol. 85. Elsevier BV. p. 1391-1424.

[5] A. Falcao, L. Gato and E. Nunes. "A novel radial self-rectifying air turbine for use in wave energy converters".

[6] F. D. Mosquera, C. A. Evangelista, P. F. Puleston and J. V. Ringwood, "Control Twisting con Adaptación Basada en Cruce por Cero para un Sistema de Columna de Agua Oscilante con Generador Sincrónico". 27 ◦ Congreso Argentino de Control Automático AADECA'20 Virtual. 2020

[7] F. D. Mosquera and C. A. Evangelista and P. F. Puleston and J. V. Ringwood. "Optimal wave energy extraction for oscillating water columns using second-order sliding mode control". IET Renewable Power Generation , Vol. 14, No. 9. 2019

[8] G. Bartolini and A. Levant and A. Pisano and E. Usai. "Adaptive second-order sliding mode control with uncertainty compensation". International Journal of Control , Vol. 89, No. 9, 2016

LA PSEUDO-REACCIÓN DE BIOMASA, EL MAYOR DESAFÍO DEL MODELIZADO METABÓLICO DE MICROORGANISMOS

M. Teresita Castañeda[1]✉; Sebastián Nuñez[1]; Martín Jamilis[1]; Claudio Voget[2]; Hernán De Battista[1]

[1] Grupo de Control Aplicado (GCA), Instituto LEICI (CONICET - Fac. de Ingeniería, UNLP)
Calle 48 esq. 116 s/n, La Plata, Buenos Aires.
[2] Centro de Investigación y Desarrollo en Fermentaciones Industriales (CINDEFI-CONICET-UNLP)
✉ castaneda@biotec.quimica.unlp.edu.ar

Palabras clave: Modelizado metabólico, pseudo-reacción de biomasa, FBA, *Rhodosporidium toruloides*, Modelos de escala genómica

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente en bioprocesos se han utilizado modelos no estructurados que tienen en cuenta la dinámica de las especies extracelulares y la influencia de parámetros extrínsecos. Los modelos no estructurados, también denominados de caja negra, son de utilidad para describir la evolución de sustratos y productos en el biorreactor, sin embargo, ignoran por completo lo que ocurre intracelularmente como resultado del metabolismo microbiano. La incertidumbre y la falta de información sobre el metabolismo y la fisiología microbiana lleva a que usualmente las plantas se operen en regímenes demasiado conservadores, subóptimos y no intensivos, desaprovechando su potencialidad. A los efectos de que los microorganismos puedan utilizarse como verdaderas fábricas celulares, es necesario conocer sus rutas metabólicas más relevantes para lograr manipularlas en función del producto que se desea producir. A tal fin pueden emplearse modelos metabólicos que describen en detalle lo que sucede a nivel intracelular y su influencia con el entorno extracelular.

Los modelos metabólicos son modelos estructurados que describen matemáticamente los componentes (metabolitos, genes, enzimas) que conforman el metabolismo y las interacciones entre ellos [1]. Desde la publicación del primer modelo metabólico a escala genómica (GEM) en 1991 [2], el modelizado metabólico de cepas de interés biotecnológico se ha establecido como unas de las herramientas más útiles para el análisis sistemático del metabolismo y su relación con el fenotipo expresado [3]. Estos modelos permiten la predicción de los flujos de todas las reacciones que intervienen en el metabolismo mediante técnicas de optimización como el Análisis de Balance de Flujos (FBA), que hace uso de programación lineal [4]. Algunos ejemplos de aplicaciones relevantes de este tipo de modelos es el desarrollo de nuevas cepas para producción de químicos biobasados y biomateriales, determinación de blancos terapéuticos para ciertos patógenos, la predicción de la funcionalidad de enzimas, la interacción entre múltiples microorganismos y la comprensión de algunas enfermedades en humanos [3].

Las inferencias sobre el metabolismo, realizadas por medio de FBA empleando modelos metabólicos, dependen en gran medida de la función objetivo empleada, siendo la más utilizada la denominada pseudo-reacción de biomasa [5]. Esta se trata de una reacción empírica, específica para cada microorganismo, compuesta por los precursores metabólicos de las principales biomoléculas que componen a los seres vivos: glúcidos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos [1, 4]. Además de los precursores de biomasa, es fundamental la correcta cuantificación del poder reductor y la energía en forma de ATP necesaria para los procesos de biosíntesis que conforman el anabolismo. La determinación de la composición de la biomasa y de los requerimientos energéticos se lleva a cabo experimentalmente. En caso no poder obtener la composición completa del microorganismo en estudio, puede obtenerse información a partir del genoma del mismo o de microorganismos similares [1].

En este trabajo se analizó la incidencia de la pseudo-reacción de biomasa en las predicciones llevadas a cabo mediante FBA. Para ello, se consideró como microorganismo de estudio la levadura *Rhodosporidium toruloides*. Esta es una cepa de relevancia para la industria ya que puede producir altas concentraciones de lípidos microbianos para la producción de biodiesel de tercera generación [6, 7], enzimas de interés farmacéutico [8, 9] y carotenoides, entre otros productos [10]. Se tomó como base un modelo metabólico desarrollado por nuestro grupo de trabajo [6], se propusieron modificaciones a la pseudo-reacción de biomasa en función de la información disponible en GEMs recientemente publicados [11, 12] y se evaluaron las implicancias de las modificaciones realizadas.

2. DESARROLLO

2.1. Modelo metabólico de *R. toruloides*

En este trabajo se utilizó como base un modelo metabólico de *R. toruloides*, publicado por nuestro grupo de trabajo [6]. El mismo está compuesto por 93 metabolitos, 104 reacciones y 116 genes. Entre las principales rutas representadas se encuentran la glicólisis, ruta de pentosas fosfato, ciclo de Krebs, ciclo de glioxilato, metabolismo central de nitrógeno y fosforilación oxidativa. Estas reacciones se localizan o bien en el compartimento mitocondrial o en el citoplasmático. En este modelo, la pseudo-reacción de producción de biomasa (`Cell_mass_Eqn`) fue obtenida a partir de una reconstrucción previa, basada en la composición de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* [13]. Originalmente esta reacción fue balanceada en masa y carga, y se adicionaron los metabolitos de `glut` (glutamato) y `glum` (glutamina), como precursores del resto de los aminoácidos y demás compuestos nitrogenados. Los coeficientes estequiométricos que acompañan a `glut` y `glum` en la pseudo-reacción de biomasa se calcularon en aquella oportunidad a partir del balance de nitrógeno global considerando que la biomasa era el único producto nitrogenado y que tenía una fórmula elemental promedio de $CH_{1.76}O_{0.58}N_{0.16}$ [6].

2.2. Actualización de la reacción de biomasa empleando GEMs recientemente publicados

Para la actualización de la reacción de biomasa se emplearon dos modelos a escala genómica publicados recientemente [11, 12]. En particular el GEM de Tiukova et. al. [11] fue elegido como base debido a que la estructura de su pseudo-reacción de biomasa está definida en función de las cuatro biomoléculas principales (glúcidos, proteínas, ácidos nucleicos y lípidos). Una particularidad de este GEM, es que los lípidos que componen la biomasa son calculados a partir del algoritmo SLIMEr [14]. Este algoritmo permite representar la amplia variedad de clases de lípidos en entidades medibles considerando no solo la clase de lípidos, sino que también tiene en cuenta la distribución de las cadenas y sus diferentes grados de saturación. El procedimiento de actualización de la pseudo-reacción de biomasa consistió en seleccionar las rutas biosintéticas más probables en *R. toruloides* para calcular los requerimientos estequiométricos de nuestros precursores necesarios para producir monómeros y a partir de ellos las diferentes biomoléculas que componen la célula. Para ello, además de los GEMs, se utilizó información de bases de datos como YeastPathways [15] y MetaCyc [16]. En cuanto a los requerimientos energéticos, esto es, el ATP necesario para el crecimiento (GAM) y mantenimiento de la cepa (NGAM), se determinaron mediante el método descripto en [12], empleando datos experimentales en cultivo continuo [17]. El método consiste en calcular los flujos metabólicos mediante FBA, empleando la reacción `ATPM` como función objetivo, sujeto a los valores experimentales de q_S y D. Luego, mediante regresión lineal de los flujos máximos obtenidos para cada D puede obtenerse el valor de GAM de la pendiente y el NGAM de la ordenada al origen, respectivamente.

2.3. Cálculo de parámetros estequiométricos y consistencia de balances globales

Con la finalidad de determinar la influencia de los cambios realizados en la ecuación de biomasa de nuestro modelo, se calcularon los flujos de las reacciones extracelulares (v) mediante FBA, empleando la reacción de biomasa como función objetivo. Con estos flujos se determinaron los rendimientos en biomasa ($y_{x/s}$), dióxido de carbono ($y_{CO_2/s}$) y en oxígeno (b) respecto a la fuente de carbono y energía (glucosa) y el rendimiento de biomasa respecto a la fuente de nitrógeno ($y_{x/n}$) (Ec. 1-4).

$$y_{x/s} = \frac{v_{\text{Cell_mass_Eqn}}}{v_{\text{EX_GLC}}} \tag{1}$$

$$y_{CO_2/s} = \frac{v_{\text{EX_CO2}}}{v_{\text{EX_GLC}}} \tag{2}$$

$$b = \frac{v_{\text{EX_O2}}}{v_{\text{EX_GLC}}} \tag{3}$$

$$y_{x/n} = \frac{v_{\text{Cell_mass_Eqn}}}{v_{\text{EX_NH4}}} \tag{4}$$

Con los rendimientos calculados se determinaron el balance de carbono (Ec. 5), el balance de grado de reducción (Ec. 6), el balance de nitrógeno (Ec. 7) y el cociente respiratorio (Ec. 8) para el modelo con la nueva reacción de biomasa y se contrastó estos valores con el modelo original y con los GEMs de *R. toruloides*.

$$BC = y_{x/s} + y_{CO_2/s} \tag{5}$$

$$B\gamma = y_{x/s} * \frac{\gamma_x}{\gamma s} + b * \frac{4}{\gamma s} \tag{6}$$

$$BN = 0{,}16 * y_{x/n} \tag{7}$$

$$CR = \frac{v_{\text{EX_CO2}}}{v_{\text{EX_O2}}} \tag{8}$$

Todos los rendimientos y balances se expresaron en unidades de Cmol o mol dependiendo de la especie, para un mejor análisis y comparación.

3. RESULTADOS

3.1. Pseudo-reacción de biomasa actualizada a partir de los GEMs

En la Fig. 1 se esquematiza el procedimiento llevado a cabo para encontrar la relación entre los precursores del GEM de *R. toruloides* y los precursores de nuestro modelo. El proceso necesario para obtener la equivalencia entre precursores resultó muy laborioso, ya que la pseudo-reacción de biomasa en los GEMs contienen múltiples especies cuya síntesis es compleja y se ramifica en múltiples puntos.

Una vez determinados los requerimientos totales de cada precursor del modelo para los procesos anabólicos, se comparó la nueva estequiometría con su equivalente en el modelo anterior (Fig. 2). La mayoría de los precursores no sufrieron importantes modificaciones respecto a la estequiometría original. En general, se observaron diferencias considerables en los metabolitos asociados a la energía necesaria para el anabolismo (atp[c], adp[c], h2o[c], pi[c] y h[c]). Estos valores resultan más confiables que los originales, ya que fueron obtenidos mediante cultivos continuos de *R. toruloides*. Del mismo modo, se determinó el requerimiento de ATP para el mantenimiento no asociado al crecimiento (NGAM), el cual resultó de 0,4788 mmol ATP/gh,

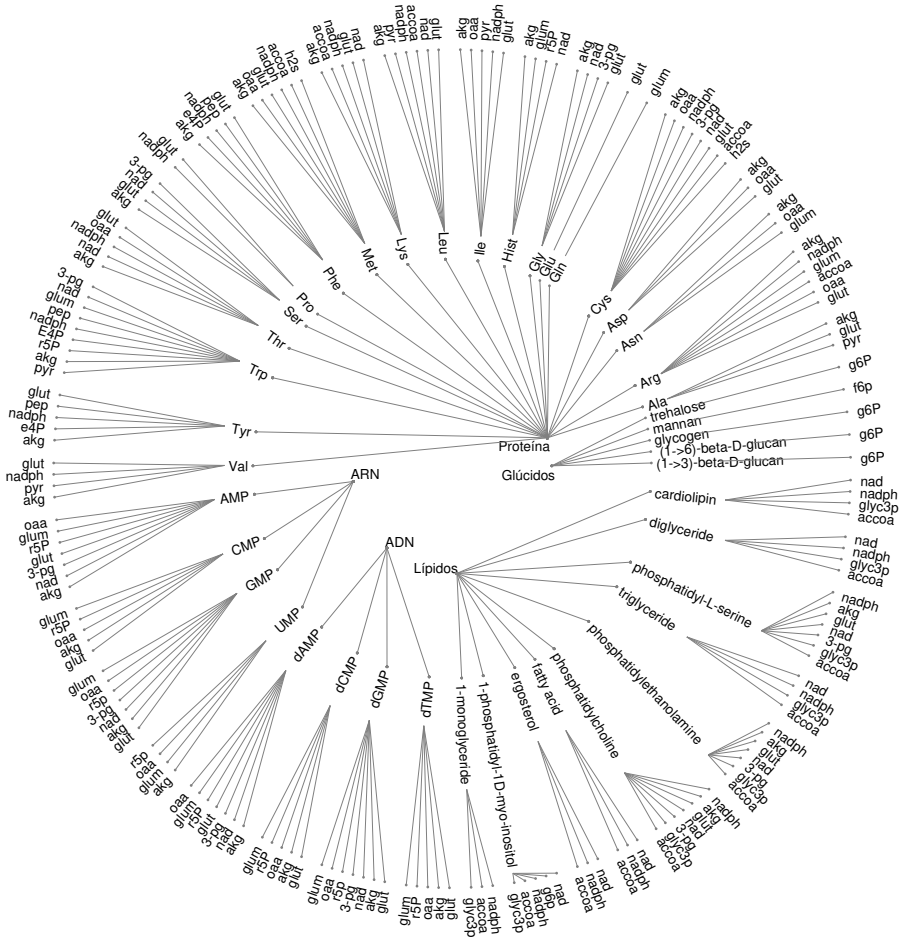


Figura 1: Relación entre los precursores del GEM [11] y los precursores de nuestro modelo. Del centro hacia afuera: macromoléculas (nivel 1), constituyentes y monómeros (nivel 2) y precursores de nuestro modelo (nivel 3).

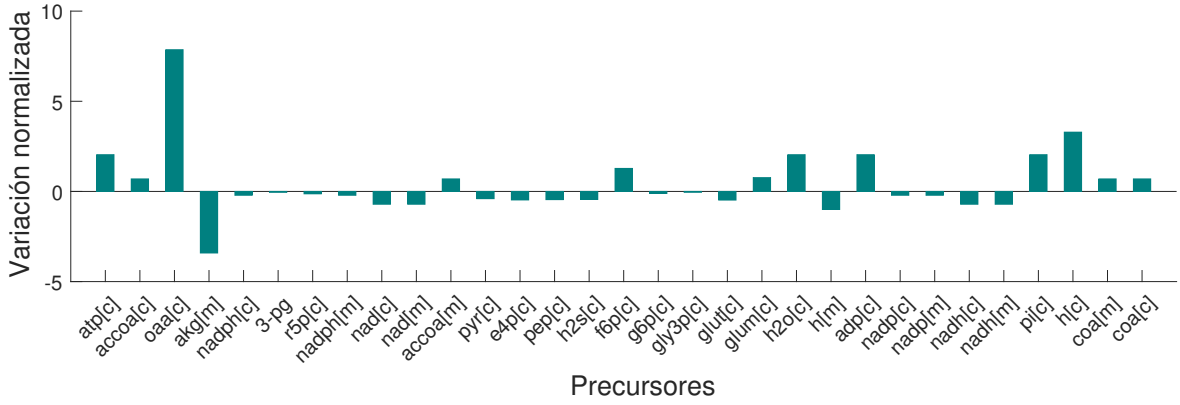


Figura 2: Variación normalizada de los coeficientes estequiométricos que acompañan a los precursores de la pseudo-reacción de biomasa, luego de las modificaciones realizadas.

ligeramente superior al valor del modelo original (0,422 mmol ATP/gh). Finalmente, se encontraron diferencias significativas en precursores como oxalacetato (oaa[c]) asociado a la síntesis de algunos aminoácidos y ácidos nucleicos, y en el oxoglutarato (akg[c]) el cual pasó a ser

Parámetro	Valor esperado	Modelo original	Modelo modificado	GEM Tiukova [11]	GEM Dinh [12]
$y_{x/s}$	0,45-0,47*	0,424	0,473	0,507	0,475
$y_{CO_2/s}$	0,53-0.55**	0,188	0,445	0,451	0,479
b	0.46-0.48**	0,211	0,409	0,408	0,429
$y_{x/n}$	6,25**	6,247	8,811	9,288	5,910
BC	1	0,612	0,918	0,959	0,955
$B\gamma$	1	0,648	0,896	0,930	0,919
BN	1	0,999	1,410	1,486	0,946
CR	$\geq$1	0,891	1,087	1,106	1,116

*Tabla 1: Cálculo de parámetros estequiométricos y balances globales a partir de los modelos metabólicos. * Extraído de datos experimentales de [17]. ** Datos calculados a partir de balances y la estequiometría de la fórmula elemental de R. toruloides ($CH_{1.76}O_{0.58}N_{0.16}$) [6]. Los flujos fueron expresados en unidades de Cmol, Nmol o mol, dependiendo el caso.*

un producto del proceso de biosíntesis de aminoácidos, ácidos nucleicos y algunas especies lipídicas.

3.2. Análisis de consistencia de los balances globales

Para determinar la influencia de los cambios realizados en la pseudo-reacción de biomasa, se calcularon los rendimientos a partir de los flujos de las reacciones extracelulares obtenidos por medio de FBA. A partir de estos rendimientos, se calcularon los balances globales y se compararon con los GEMs publicados. Como puede verse en la Tabla 1, la modificación de la pseudo-reacción de biomasa tuvo incidencia en los rendimientos y en los balances globales. Particularmente, se observa una mejora considerable en cuanto a los balances de BC y $B\gamma$, asociada a la modificación en cuanto al CO_2 producido y oxígeno consumido por Cmol de glucosa (rendimientos $y_{CO_2/s}$ y b). Al variar estos parámetros también se corrigió el cociente respiratorio (CR). En el caso del nitrógeno, tal como fue descripto en la Sección 2.1, los coeficientes `glut` y `glum` se calcularon en el modelo original teniendo en cuenta la fórmula elemental de la biomasa con lo cual es esperable que el BN concuerde con el valor teórico esperado. No obstante, cuando utilizamos los datos del GEM de Tiukova el balance se aleja de la idealidad, problema que arrastra de dicho modelo. En rasgos generales podemos ver que aun con modelos altamente validados como los GEMs de Tiukova y Dinh, la estequiometría está ligeramente alejada de los valores teóricos ideales. Esto se debe fundamentalmente a que la pseudo-reacción de biomasa es de carácter empírico, y por lo tanto, tiene asociado cierto error e incertidumbre.

4. CONCLUSIONES

Los modelos metabólicos han revolucionado en las últimas décadas la forma de analizar, simular y optimizar los procesos biotecnológicos. Si bien el proceso de modelizado metabólico de microorganismos es extenso y laborioso, permite obtener un conocimiento más acabado de lo que ocurre intracelularmente y sus consecuencias en el entorno en el cual se cultivan estos microorganismos. Además, el conocimiento detallado de los flujos metabólicos, las rutas activas y la relación entre los genes, enzimas y reacciones, permite desarrollar estrategias de mejoramiento genético de cepas para la sobreproducción de metabolitos de interés.

En el proceso de reconstrucción de redes metabólicas, la pseudo-reacción de biomasa por su carácter empírico y determinación experimental constituye el mayor desafío e influye significativamente, como se demostró en este trabajo, en las predicciones realizadas. En el caso particular de *R. toruloides* los nuevos datos suministrados por los GEMs, permitieron actualizar esta pseudo-reacción y acercarnos a los valores esperados tanto para los rendimientos como los balances globales. Dado que los GEMs tienen discrepancias con los valores esperados, en

futuros trabajos se deberá desarrollar estrategias que combinen la información disponible para una mejor aproximación.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por proyectos de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 2019-3635, PICT 2019-3476, PICT 2017-3211), CONICET (PIP 0837) y UNLP (UNLP I253).

BIBLIOGRAFÍA

[1] I. Thiele and B. Ø. Palsson, "A protocol for generating a high-quality genome-scale metabolic reconstruction," *Nature Protocols*, vol. 5, no. 1, p. 93, 2010.

[2] J. S. Edwards and B. Ø. Palsson, "Systems properties of the *Haemophilus influenzae* Rd metabolic genotype," *Journal of Biological Chemistry*, vol. 274, no. 25, pp. 17410–17416, 1999.

[3] C. Gu, G. B. Kim, W. J. Kim, H. U. Kim, and S. Y. Lee, "Current status and applications of genome-scale metabolic models," *Genome Biology*, vol. 20, no. 1, pp. 1–18, 2019.

[4] J. D. Orth, I. Thiele, and B. Ø. Palsson, "What is flux balance analysis?," *Nature Biotechnology*, vol. 28, no. 3, pp. 245–248, 2010.

[5] D. Dikicioglu, B. Kırdar, and S. G. Oliver, "Biomass composition: the "elephant in the room" of metabolic modelling," *Metabolomics*, vol. 11, no. 6, pp. 1690–1701, 2015.

[6] M. T. Castañeda, S. Nuñez, F. Garelli, C. Voget, and H. De Battista, "Comprehensive analysis of a metabolic model for lipid production in Rhodosporidium toruloides," *Journal of Biotechnology*, vol. 280, pp. 11–18, 2018.

[7] M. T. Castañeda, S. Nuñez, C. Voget, and H. De Battista, "In silico optimization of lipid production in Rhodosporidium toruloides by gene knockout strategies," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 1, pp. 94–99, 2019.

[8] M. T. Castañeda, O. Adachi, and R. A. Hours, "Reduction of L-phenylalanine in protein hydrolysates using L-phenylalanine ammonia-lyase from Rhodosporidium toruloides," *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, vol. 42, no. 10, pp. 1299–1307, 2015.

[9] M. T. Castañeda, O. Adachi, and R. Hours, "L-Fenilalanina amonio liasa (PAL) de Rhodosporidium toruloides NBRC 0559.," *Ingenio Tecnológico*, vol. 1, pp. e002–e002, 2019.

[10] Y.-K. Park, J.-M. Nicaud, and R. Ledesma-Amaro, "The engineering potential of Rhodosporidium toruloides as a workhorse for biotechnological applications," *Trends in Biotechnology*, vol. 36, no. 3, pp. 304–317, 2018.

[11] I. A. Tiukova, S. Prigent, J. Nielsen, M. Sandgren, and E. J. Kerkhoven, "Genome-scale model of Rhodotorula toruloides metabolism," *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 116, no. 12, pp. 3396–3408, 2019.

[12] H. V. Dinh, P. F. Suthers, S. H. J. Chan, Y. Shen, T. Xiao, A. Deewan, S. S. Jagtap, H. Zhao, C. V. Rao, J. D. Rabinowitz, *et al.*, "A comprehensive genome-scale model for Rhodosporidium toruloides IFO0880 accounting for functional genomics and phenotypic data," *Metabolic Engineering Communications*, vol. 9, p. e00101, 2019.

[13] R. R. Bommareddy, W. Sabra, G. Maheshwari, and A.-P. Zeng, "Metabolic network analysis and experimental study of lipid production in Rhodosporidium toruloides grown on single and mixed substrates," *Microbial Cell Factories*, vol. 14, no. 1, pp. 1–13, 2015.

[14] B. J. Sánchez, F. Li, E. J. Kerkhoven, and J. Nielsen, "SLIMEr: probing flexibility of lipid metabolism in yeast with an improved constraint-based modeling framework," *BMC Systems Biology*, vol. 13, no. 1, pp. 1–9, 2019.

[15] J. M. Cherry, "The saccharomyces genome database: Exploring biochemical pathways and mutant phenotypes," *Cold Spring Harbor Protocols*, vol. 2015, no. 12, pp. pdb–prot088898, 2015.

[16] R. Caspi, R. Billington, I. M. Keseler, A. Kothari, M. Krummenacker, P. E. Midford, W. K. Ong, S. Paley, P. Subhraveti, and P. D. Karp, "The metacyc database of metabolic pathways and enzymes-a 2019 update," *Nucleic Acids Research*, vol. 48, no. D1, pp. D445–D453, 2020.

[17] H. Shen, Z. Gong, X. Yang, G. Jin, F. Bai, and Z. K. Zhao, "Kinetics of continuous cultivation of the oleaginous yeast rhodosporidium toruloides," *Journal of Biotechnology*, vol. 168, no. 1, pp. 85–89, 2013.

DESARROLLO E INTEGRACIÓN DE BIORREACTOR PARA LABORATORIO BIOTECNOLÓGICO

Martín Jamilis; M. Teresita Castañeda; Sebastián Nuñez

CONICET y Grupo de Control Aplicado, Instituto LEICI, Dto. de Electrotecnia, Fac. de Ing., UNLP,
Calle 48 esq. 116 s/n, La Plata, Buenos Aires.
martin.jamilis@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: biotecnología, instrumentación, control, biorreactor

1. INTRODUCCIÓN

La biotecnología, por definición, se puede asociar con cualquier tecnología que haga uso de organismos vivos o sistemas biológicos para la producción de productos o servicios. Incluso antes de que la humanidad entendiera la biología, ya se usaba la biotecnología para la fabricación de bebidas fermentadas (vino, cerveza) y pan [1]. En el mundo moderno los bioprocesos son una parte esencial en numerosas industrias químicas, de alimentos y farmacéuticas. Mediante el uso de microorganismos o alguno de sus componentes, como enzimas, se pueden fabricar productos con valor agregado (químicos biobasados, biofarmacéuticos, biopolímeros, etc), remediar ambientes contaminados, tratar efluentes industriales, entre otros [2].

En la gran mayoría de los bioprocesos, la factibilidad económica está directamente ligada a la productividad. Esta, a su vez, se encuentra afectada por el medio en el cual se cultivan los microorganismos (calidad y concentración de nutrientes esenciales), el sistema de cultivo (batch, fed-batch o continuo) y las condiciones de entorno tales como la temperatura, pH, oxígeno disuelto (DO), alcalinidad, entre otros. Además, en procesos donde participa más de una especie de microorganismos (multiespecie) la presencia y tasa de crecimiento de otras especies de microorganismos es de relevancia. Con el fin de garantizar condiciones adecuadas para la proliferación de los microorganismos, muchos procesos se desarrollan en (bio)reactores que permiten una mejor monitorización y control de los condiciones fisicoquímicas, homogeneidad, y garantizar la esterilidad si se requiere. Uno de los biorreactores más empleados son los reactores tipo tanque agitado (STR), fabricados en vidrio o acero inoxidable, con algún dispositivo de mezclado para la homogeneización del medio de cultivo líquido. En algunos casos, por los niveles de pureza o de seguridad requeridos los procesos se realizan exclusivamente en biorreactores de este tipo, como en la producción de vacunas, hormonas o antibióticos. En otros casos, aunque el proceso final no se lleva a cabo en un biorreactor tipo STR , las etapas de desarrollo en laboratorio utilizan biorreactores de baja y mediana escala a (1 a 100L), como puede ser el caso de la digestión anaeróbica o procesos de remoción de nitrógeno en aguas.

A nivel internacional existen pocas compañías que comercializan biorreactores con niveles de instrumentación y control avanzados. Esto incluye lazos de control de temperatura, pH, DO, nivel y espuma, y un sistema de adquisición y control desde el que se pueda controlar dosificación de medios de cultivo y monitorizar y almacenar datos de las variables medidas para los lazos de control. El costo de este tipo de biorreactores es sumamente elevado para el mercado argentino, más si se tiene en cuenta que un laboratorio normalmente debería contar con varias unidades funcionando en paralelo. Otro inconveniente común en equipos comerciales es la falta de flexibilidad para la configuración de los parámetros de adquisición y control, como tasas de muestreo o la arquitectura de controladores multivariables, aún cuando las implementadas por el fabricante son deficientes como en el caso del lazo de control de DO en marcas líderes. Incluso existe la imposibilidad de agregar nuevos lazos de control para variables no controladas originalmente por el equipo.

El presente trabajo se enmarca dentro de un proyecto para desarrollar prototipos de biorreactores altamente instrumentados y controlados, priorizando la integración de hardware industrial estándar, desarrollo de dispositivos electrónicos y la aplicación de herramientas de software que permitan implementar algoritmos de estimación y control avanzados. Se busca que el prototipo obtenido sean accesible económicamente, y que sirvan como plataforma para el desarrollo y ensayo experimental de algoritmos de monitorización, estimación y control en el área de bioprocesos. Este desarrollo no solamente tiene un gran potencial de transferencia a instituciones de investigación del área biotecnología del país, sino que los resultados obtenidos se pueden extender a plantas piloto industriales o de pymes familiares. Por ejemplo, el sistema de adquisición y control puede ser usado en biodigestores o *raceways* con microalgas, donde los sensores y actuadores son similares.

En este trabajo se presentan resultados parciales conforme al avance del proyecto. Además, cabe destacar que en el proyecto han participado varios alumnos de las carreras de Ingeniería en Electrónica y Computación en el marco de trabajos finales y prácticas profesionales supervisadas.

2. DESARROLLO

2.1. Sensores

Típicamente, en un biorreactor se mide en línea temperatura, pH y concentración de DO (si el bioproceso es aeróbico), que son las mediciones mínimas para poder garantizar un correcto desarrollo del proceso. Adicionalmente, en muchos casos se agregan sensores de nivel, espuma, balanzas para pesaje del reactor y reservorio de medios, y caudalímetros para determinar el flujo de gases de salida. Por otra parte, resulta sumamente provechoso, aunque poco usual, poder determinar concentraciones de diferentes especies tanto en fase líquida como gaseosa empleando, por ejemplo, dispositivos para determinación de biomasa microbiana, o composición de gases. Normalmente, es requisito que todo sensor que se instale en el interior de un biorreactor de laboratorio debe ser capaz de soportar múltiples ciclos de esterilización, estar fabricado con materiales anticorrosivos, y no modificar las condiciones de esterilidad dentro del biorreactor. En este proyecto, se busca además que los sensores tengan capacidad de comunicarse mediante protocolos industriales estándar, y que no requieran hardware propietario adicional para su interfaz con dispositivos de control industriales o computadoras.

Para la medición en línea de la concentración de DO se adquirió un sensor Hamilton VisiFerm DO Arc, que tiene la particularidad de determinar DO mediante métodos ópticos a partir de un elemento luminóforo sensible al oxígeno. En comparación con sensores polarimétricos clásicos, son más rápidos, fáciles de mantener, insensibles al CO_2 disuelto y no poseen problemas de polarización. La exactitud es mejor al $\pm 0.5\,\% - \text{vol}$ y el rango es de $(0\text{–}300)\,\% - \text{sat}$ [3].

Para la medición en línea del pH se adquirió un sensor Hamilton EasyFerm Bio Arc, que determina pH por método potenciométrico. Este método se basa en la relación entre el potencial eléctrico de un par de electrodos y la actividad química de los iones en una solución (ecuación de Nernst) [4]. Tiene un rango de medida completo de $(0\text{–}14)\,\text{pH}$, una sensibilidad de $57\,\text{mV/pH}$ a $25\,°\text{C}$ y una exactitud de $\pm 0.02\,\text{pH}$ [5].

Tanto el sensor de DO como el de pH pueden comunicarse digitalmente por bus RS-485 mediante protocolo Modbus RTU, o analógicamente por línea de 4-20mA. Esto resulta ventajoso para su manejo mediante controladores lógicos programables (PLC). En este proyecto, se optó por utilizar Modbus RTU para la lectura y calibración de los sensores. Adicionalmente, ambos sensores cuentan con lógica interna que permite configurar parámetros de la comunicación, unidades de medida, valores de calibración, compensación por temperatura, etc.

Para medir el caudal de aire bombeado hacia el biorreactor se utiliza un sensor Honeywell Zephyr HAF BLF0750CAAX5. El sensor determina el caudal másico de aire por transferencia de calor en un micropuente con resistencias sensibles a la temperatura. El acondicionamiento de señal se realiza dentro del mismo sensor, que provee una interfaz de salida analógica de tensión de $(0\text{–}5)\,\mathrm{V}$. El rango de medida es de $(0\text{–}750)\,\mathrm{cm^3\,min^{-1}}$, la exactitud es de $\pm 0.25\,\mathrm{cm^3\,min^{-1}}$ para caudales menores a $37.5\,\mathrm{cm^3\,min^{-1}}$ y de $\pm 10\,\%$ para caudales mayores.

Por otra parte, se encuentra en desarrollo un prototipo de sensor de densidad óptica (OD) para la medición en línea de la concentración de biomasa microbiana. El principio de funcionamiento del sensor se basa en la ley de Beer-Lambert [6], que establece una relación lineal entre la absorción de luz de un medio y la concentración de partículas suspendidas en él. El sensor está formado básicamente por un emisor de luz (diodo láser de $625\,\mathrm{nm}$ y $200\,\mathrm{mW}$) y dos sensores de luz OPT101 de Texas Instruments (fotodiodos integrados con amplificadores de transimpedancia), para medir las intensidades incidente y transmitida a través de la muestra. El ancho de banda de la medida se acota mediante filtros pasabajo en topología Sallen-Key. El cálculo de la absorbancia de la muestra se realiza digitalmente después de adquirir las salidas de los sensores de luz con un ADC de 12 bits integrado en un microcontrolador. Con el fin de evitar la saturación de los fotosensores e incrementar el rango de absorbancias medidas, el microcontrolador varía la corriente del láser a través de un circuito realimentado hasta obtener intensidades de luz en el rango de medida de los sensores.

2.2. **Actuadores**

El medio líquido se agita con una turbina tipo Rushton de 4 palas impulsada por un motor de inducción trifásico Kaifa de 4 polos, $0.25\,\mathrm{HP}$ y velocidad nominal $1500\,\mathrm{rpm}$. La velocidad del motor se controla con un variador de frecuencia WEG CFW-10 que a su vez es comandado por el equipo de control a través de una señal analógica de tensión entre 0 y 10V. El variador tiene una resolución de $0.1\,\mathrm{Hz}$, equivalente a 3 rpm con el motor utilizado. Si bien muchos biorreactores de baja escala utilizan motores de continua, el motor utilizado tiene las mismas prestaciones con un menor costo y mantenimiento. Por otra parte, aún siendo el variador la parte más costosa del conjunto, su valor es comparable al equivalente para un motor de continua, habiendo más variedad en el mercado local y pudiendo escalarse fácilmente para plantas de mayor volumen.

Para inyectar aire al biorreactor se utiliza una bomba de acuario Atman At-704 con un rango entre 5 y 300 $\mathrm{L\,h^{-1}}$. Se desarrolló un circuito electrónico para controlar la excitación de la bomba (o equivalentemente el caudal) que se comanda mediante una señal PWM o una analógica de tensión entre 0 y 5V.

Para la dosificación de medios de cultivo se adquirió una bomba peristáltica Prefluid BL-100, con un rango de velocidad de $(0.1\text{–}100)\,\mathrm{rpm}$ ($(0.021\text{–}843)\,\mathrm{mL\,min^{-1}}$, para diámetros mínimo y máximo de manguera). El valor del caudal se puede establecer manualmente en la bomba o remotamente por interfaz 4-20mA o RS485 utilizando un protocolo compatible con Modbus RTU.

Para el manejo de líquidos en los que se requiere menor precisión (solución ácido/base, antiespuma) se están desarrollando bombas peristálticas. Estas se basan en motores paso a paso controlados con un microcontrolador MSP430. Actualmente, se puede controlar el caudal o volumen desplazado por las bombas por RS485 mediante protocolo serie. Se está implementando el protocolo Modbus RTU en el microcontrolador que controla las bombas.

2.3. **Dispositivos de control y monitoreo**

Para controlar la planta se utiliza un PLC Slicetex Electronics STX-8091-A2, de fabricación nacional. Este PLC posee 12 entradas digitales, 10 salidas digitales (8 relés + 2 transistores

con PWM), 8 entradas analógicas, 1 salida analógica, puerto Ethernet y puerto RS232/RS485, sin necesidad de módulos adicionales. Además, es compatible con Modbus y 4-20mA, y puede comunicarse por protocolo UDP. La programación del PLC puede realizarse en lenguaje Ladder o texto estructurado (Pawn), siendo este ultimo el utilizado en el proyecto.

Para la recopilación de datos y visualización en tiempo real se utiliza una Raspberry Pi 3 B+ con un panel táctil de 7 pulgadas y software ad-hoc escrito en Python y librerías Matplotlib. Adicionalmente, se está desarrollando una aplicación web para configuración de los procesos, adquisición y visualización de datos. Tanto el *Backend* como el *Frontend* están implementados con node.js, mientras que para la base de datos se usa postgreSQL. El software también permite gestionar usuarios y permisos, y exportar datos.

2.4. Cuerpo de biorreactor

Los elementos que componen el cuerpo del biorreactor (vaso, tapa y sus puertos de conexión) debe ser capaces de soportar múltiples ciclos de esterilización (temperatura y presión), no ser corrosivos, y poseer poca rugosidad para evitar la adherencia de los microorganismos. Los materiales usualmente usados son el vidrio borosilicatado y el acero inoxidable. En este proyecto, se adquirió un vaso de vidrio borosilicatado de un biorreactor New Brunswick de $2\,\mathrm{L}$. La tapa se diseñó por modelado 3D, agregando múltiples puertos para sensores y manejos de líquidos. A la fecha la tapa está en proceso de fabricación en acero inoxidable, habiéndose verificado ya las medidas de puertos y roscas, y restando la soldadura de piezas y pulido.

2.5. Lazos de control implementados

Al momento se han desarrollado y ensayado experimentalmente los lazos de control de pH y DO. Ambos están completamente implementados en el PLC que controla el sistema y se ensayaron primero en un esquema *Hardware in the loop*, donde los controladores se ejecutan en el PLC y la planta es simulada en software de alto nivel en una computadora. Estos ensayos fueron realizados con los actuadores conectados y energizados. Posteriormente se ensayaron experimentalmente en el biorreactor, como se describe en las Secciones 3.2 y 3.3.

Para el control del pH se utilizaron dos bombas peristálticas de desarrollo propio para dosificar pequeños volúmenes de solución ácida o alcalina. Para el comando de las bombas se utilizó un controlador PID, cuya sintonización se realizó primero en base al modelo de la planta y las simulaciones [7]. Durante los ensayos experimentales se ajustaron las ganancias para mejorar la respuesta. Las acciones de control positivas las realizó la bomba con la solución alcalina y las negativas la bomba con la solución ácida. Adicionalmente, se implementó una zona muerta para evitar la dosificación continua de soluciones para corregir errores de pH despreciables.

El control de DO se realizó ajustando el caudal de aire que ingresa al biorreactor y la velocidad de agitación del medio. En esta etapa se ensayaron lazos SISO en el que un PID maneja la velocidad de agitación o el caudal de aire, mientras el otro se mantiene fijo. Cada control PID (el de caudal y el de velocidad) se ajustaron empíricamente empleando las reglas de Ziegler y Nichols durante los ensayos experimentales mostrados en la Sección 3.2.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.1. Validación de sensor de biomasa

La validación del sensor de densidad óptica se realizó empleando una suspensión madre de la levadura *Saccharomyses cerevisiae* con una OD a 625 nm de $4,315 \pm 0,086$ equivalente a $2.234\,\mathrm{g\,L^{-1}}$. Dicha solución fue utilizada para elaborar una curva de calibración en un rango de OD_{625} de 0 a 1. Luego, se contrastaron las determinaciones realizadas mediante el prototipo

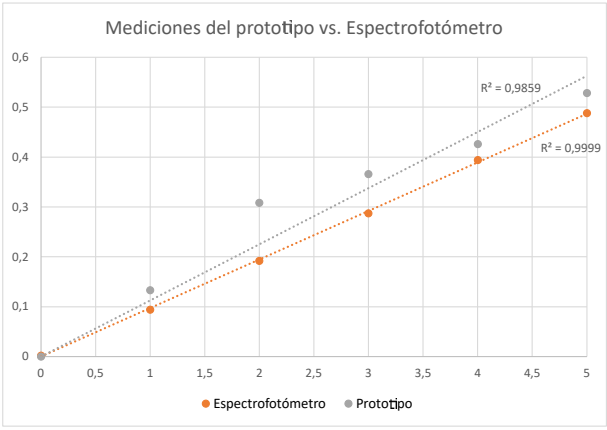


Figura 1: Validación experimental del prototipo sensor de densidad óptica desarrollado.

con las correspondientes mediciones realizadas en un espectrofotómetro comercial Beckman modelo DU. Los resultados indican una mayor linealidad en el rango de OD medido con el prototipo respecto al espectrofotómetro comercial, el cual resultó lineal hasta una OD_{625} de 0,6. En contraste, en el rango OD_{625} de 0 a 0,6, se obtuvo una mejor correlación lineal con el espectrofotómetro comercial ($R^2 = 0{,}999$) respecto al prototipo ($R^2 = 0{,}988$). Estos resultados se muestran en la Figura 1.

3.2. Validación de control de oxígeno disuelto

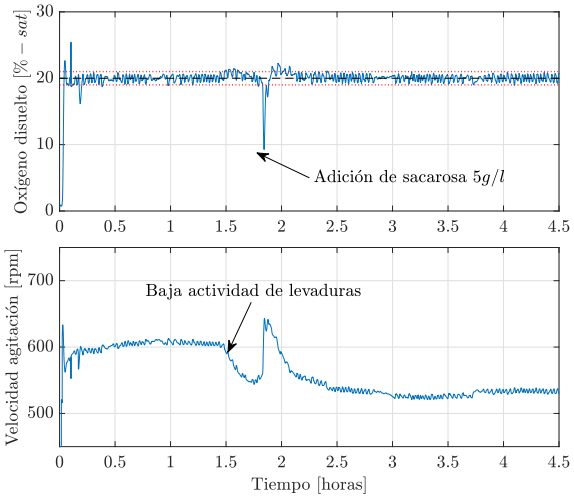
La validación experimental del control de DO se llevó a cabo mediante el cultivo de la levadura *Rhodosporidium toruloides* en un biorreactor STR marca Setric Genie Industriel de $2\,\mathrm{L}$. El medio de cultivo empleado para el crecimiento en el biorreactor contenía: $10\,\mathrm{g\,L^{-1}}$ de sacarosa (FCE), $3\,\mathrm{g\,L^{-1}}$ de hidrolizado de caseína (FN), $1.5\,\mathrm{g\,L^{-1}}$ de extracto de levadura como suplemento de minerales y vitaminas y $50\,\mathrm{mg\,L^{-1}}$ de cloranfenicol (antibiótico contra bacterias). El pH del medio fue llevado a 5.5 con el agregado de ácido clorhídrico (HCl). El sistema de cultivo empleado para la validación fue un sistema batch con pulsos de alimentación de FCE. La Figura 2a muestra parte de los resultados de los ensayos experimentales del controlador DO a través de la velocidad de agitación. Durante el cultivo, las perturbaciones en el oxígeno fueron originadas por el consumo de las levaduras. En todo momento el lazo de control fue capaz de mantener la DO en un set-point de 20 %-sat. Incluso ante un rápido incremento en el consumo de oxígeno por las levaduras antes de las 2 horas, la perturbación fue rechazada en un tiempo corto.

3.3. Validación del control de pH

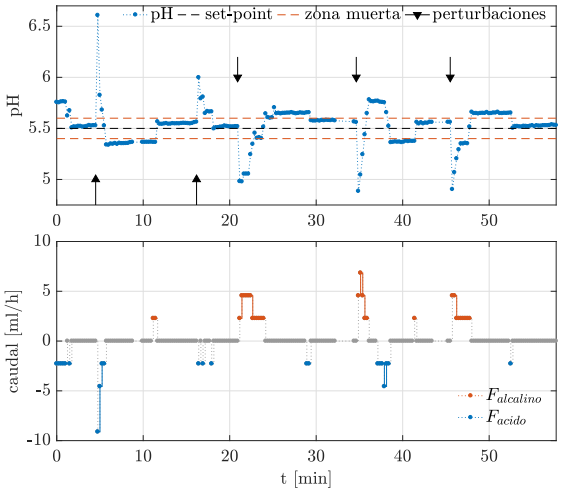
La Figura 2b muestra algunos resultados de ensayos experimentales de la validación del controlador de pH. En este caso, con el fin de ensayar el controlador en condiciones no amortiguadas y probar el hardware desarrollado, no se inoculó al biorreactor y las perturbaciones de pH se produjeron artificialmente mediante la adición de pequeños volúmenes de solución ácida o alcalina (0.25 molar) a un medio de agua destilada. El experimento se realizó en el mismo biorreactor descripto en la Sección 3.2. A pesar de que la resolución de las bombas utilizadas para el ensayo es baja, los resultados muestran que el sistema es capaz de estabilizar al pH en valores muy próximos al deseado.

4. CONCLUSIONES

Si bien aún quedan mejoras por hacer a los actuadores desarrollados y lazos de control ya implementados, el avance del proyecto muestra la capacidad de desarrollo de un sistema de monitoreo y control con similares prestaciones a los de primeras marcas. A su vez, la futura



(a) Respuesta del lazo de DO durante un cultivo de *R. toruloides*. Arriba: concentración de oxígeno disuelto. Abajo: velocidad de agitación.



(b) Respuesta del lazo de pH a perturbaciones artificiales (indicadas con flechas). Arriba: pH. Abajo: caudal de soluciones ingresado.

Figura 2: Resultados experimentales de lazos de control.

incorporación del sensor de densidad óptica para la medición en línea de biomasa constituye una característica distintiva frente a una gran parte de las plantas comerciales actuales.

A partir de la implementación de los lazos de control de pH y oxígeno disuelto, ya es posible realizar cultivos de varios días en el biorreactor, pudiendo recopilarse toda la información de sensores y actuadores en línea. Esto resulta un avance muy importante para el desarrollo de la línea de control y monitoreo de bioprocesos del instituto LEICI.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por proyectos de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 2019-3635, PICT 2019-3476, PICT 2017-3211), CONICET (PIP 0837) y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP I253). Especial agradecimiento a Lucas Gioia, Federico Burgardt, Matías Fagan, Joaquín Larsen, Emmanuel Retribe, Juan Gomez y Joaquín Jamilis por sus aportes al proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

[1] B. Alízio, D. E. Bowen, and S. F. R., *Understanding biotechnology*. Prenticel Hall PTR, 2003.

[2] P. M. Doran, *Bioprocess Engineering Principles*. London: Academic Press, second edition ed., 2013.

[3] "VisiFerm DO Arc 225 Specification Sheet (Part/REF # 243666-131)," tech. rep., Hamilton Bonaduz AG, 2018.

[4] E. K. Springer, "pH Measurement Guide," tech. rep., Hamilton Bonaduz AG, 2014.

[5] "EasyFerm Bio HB Arc 225 Specification Sheet (Part/REF # 243632-2343)," tech. rep., Hamilton Bonaduz AG, 2018.

[6] D. F. Swinehart, "The beer-lambert law," *Journal of chemical education*, vol. 39, no. 7, p. 333, 1962.

[7] K. J. Åström, T. Hägglund, and K. J. Astrom, *Advanced PID control*, vol. 461. ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society Research Triangle . . . , 2006.

Análisis del impacto de la incorporación del glucagón en un sistema de páncreas artificial conmutado sin anuncio de comidas.

Emilia Fushimi, Hernán De Battista, Fabricio Garelli
Grupo de Control Aplicado (GCA), Instituto LEICI (UNLP-CONICET), Facultad de Ingeniería, UNLP

Introducción

La diabetes tipo 1 (DT1) es una condición crónica que se caracteriza por la destrucción auto inmune irreversible de las células beta del páncreas, las cuales son las encargadas de la producción de insulina. La insulina es una hormona que comanda la absorción y almacenamiento de la glucosa presente en el torrente sanguíneo. Por este motivo, las personas con DT1 tienen altos niveles de glucosa en sangre, un estado conocido como hiperglucemia, que deriva en severas complicaciones a largo plazo. Por lo tanto, las personas con DT1 deben administrarse insulina de forma exógena.

En los últimos años, surgió el concepto de "páncreas artificial" (PA) como el tratamiento más avanzado para la DT1. Los sistemas de PA consisten en una bomba de insulina subcutánea conectada con un sensor continuo de glucosa (CGM) mediante un algoritmo de control encargado de calcular la dosis exacta de insulina que debe infundir la bomba de acuerdo a las lecturas del CGM, cerrando así el lazo de control [1].

Los sistemas de PA generalmente usan solo la insulina como su acción de control para regular la glucemia (concentración de glucosa en sangre). La mayoría de los PA monohormonales hoy en día son basados en control MPC [2, 3], PID [4, 5, 6] o lógica difusa [7].Si bien estos algoritmos han alcanzado un control de la glucemia satisfactorio [8], debido a los grandes retardos (en las lecturas del CGM, acción de la insulina, etc.) y el hecho de que no exista acción negativa (es decir, que la insulina no puede quitarse una vez que ya se ha infundido), existen situaciones en las que el usuario puede sufrir una hipoglucemia causada por una sobredosis de insulina, lo cual puede llevar a un coma o incluso la muerte. En consecuencia, varios grupos de investigación han desarrollado estrategias páncreas artificial bihormonal (PA-BH) [9, 10, 11, 12, 13]. El PA-BH incluye al glucagón como acción de control además de la insulina. Sin embargo, agregar el suministro de glucagón al lazo de control introduce varias complejidades al sistema. Por un lado, debe agregarse una cánula extra o incluso una segunda bomba de infusión subcutánea que contenga la solución de glucagón, lo que vuelve al sistema más susceptible a fallas debido a oclusión, e implica más carga para el usuario. Por otro lado, aún no hay una formulación de glucagón que sea estable por más de 24 horas. Adicionalmente, el costo del equipamiento aumenta. Por último, se ha demostrado que el efecto del glucagón para aumentar los niveles de glucemia es perjudicado cuando existen altas concentraciones de insulina a bordo (IOB) [14] por lo tanto, contar con la acción del glucagón en el lazo de control no necesariamente garantiza una eliminación de las hipoglucemias inducidas por sobredosis de insulina. Por estas razones, es importante llevar a cabo estudios exhaustivos para determinar si los beneficios del control bihormonal justifican la complejidad adicional de este tipo de sistemas de PA.

Hay dos abordajes principales para incorporar al glucagón en algoritmos de PA: diseñar un controlador de insulina que sea más agresivo que si fuera monohormonal, tomando ventaja de que se cuenta con una hormona contraregulatoria, y tener ambas acciones de control activas en todo momento; o formular al algoritmo de forma que la regulación de la glucemia sea llevada a cabo mayoritariamente por el controlador de insulina, y tener un controlador de glucagón que se limite a administrar microbolos en caso de una hipoglucemia inminente [15]. Como se mencionó previamente, se ha demostrado que los niveles altos de IOB inhiben la acción del glucagón. Por lo tanto, el primer enfoque podría resultar en un uso excesivo de ambas hormonas sin garantizar una reducción en la hipoglucemia. Adicionalmente, no se ha demostrado que dosis de más de 1 mg de glucagón por día sean seguras para el uso humano [14]. Siguiendo el segundo enfoque, es razonable esperar que las dosis de glucagón se entreguen exclusivamente cuando el suministro de insulina esté cortado.

Existen cuatro algoritmos bihormonales que han sido evaluados clínicamente hasta el día de hoy. Los grupos de investigación que los han desarrollado se ubican en Boston, Montreal, Amsterdam y Oregon. El grupo de Boston ha validado extensivamente un algoritmo bihormonal que consiste en un controlador de insulina MPC adaptivo con un controlador de glucagón con estructura PD. Este algoritmo le permite al usuario realizar anuncios de comidas con el fin de suministrar un pequeño bolo de insulina pre-comida. Los estudios *in vivo* que ha realizado el grupo de Boston incluyen ensayos ambulatorios, *multi-center* en niños, adolescentes y adultos, con y sin ejercicio [13, 16]. Por otro lado, el grupo de Oregon cuenta con un algoritmo de control con estructura *fading* PID [17].Este sistema de PA usa un monitor de ritmo cardíaco y un acelerómetro para detectar ejercicio. Esta estrategia requiere anuncio de comidas para entregar

una porción del bolo correspondiente a la ingesta [11]. Luego, el grupo de Amsterdam ha desarrollado un algoritmo bihormonal que con estructura PID y bolos de insulina y glucagón de corrección automáticos [12]. Este algoritmo es sintonizado con la sensibilidad insulínica de cada usuario, y no requiere anuncio de comidas. Por último, el grupo de Montreal utiliza un algoritmo MPC como controlador de insulina y reglas lógicas para el suministro de glucagón [9]. Adicionalmente, este grupo ha investigado la posibilidad de desarrollar un PA-BH utilizando insulina y pramlinitida en vez de glucagón [18].

Recientemente, un novedoso algoritmo de control monohormonal fue presentado, llamado *automatic regulation of glucose* (ARG) [19]. El algoritmo ARG regula la glucemia sin utilizar bolos prandiales de insulina, gracias a su estructura conmutada formada por dos controladores LQG: uno agresivo que sea capaz de compensar comidas y otras perturbaciones grandes, y uno conservador que module la infusión de insulina basal. Este algoritmo ha sido exitosamente evaluado *in vivo* [20]. Adicionalmente, se ha evaluado *in silico* sin utilizar anuncio de comidas [21] y con otras características mejoradas [22]. Si bien los resultados obtenidos en los ensayos clínicos han sido satisfactorios, esta estrategia podría verse beneficiada por el uso del glucagón.

En este trabajo, el algoritmo ARG es extendido agregando un tercer controlador encargado de suministrar glucagón (ARG_{DH}). El controlador de glucagón es un PD basado en el presentado en [16]. Éste debería estar activo únicamente para prevenir un episodio de hipoglucemia inminente. Se estudia la lógica de conmutación entre controladores evaluando diferentes propuestas. El algoritmo diseñado se evalúa *in silico*. Los resultados son comparados con los obtenido utilizando el ARG monohormonal.

Desarrollo y discusión

En esta sección, se realiza una presentación del ARG monohormonal y el ARG bihormonal, seguido de una descripción del diseño del estudio, y un análisi de los resultados obtenidos.

0.1. El Algoritmo ARG

La figura 1 muestra un diagrama en bloques del algoritmo ARG. El controlador principal es un SLQG, el cual conmuta entre un controlador agresivo K_2 encargado de compensar el efecto de las comidas, y un controlador conservador K_1, que mantiene los valores de glucemia dentro del rango deseado cuando no hay ingestas. La salida de este bloque es la dosis de insulina calculada por el SLQG (u_c). Para una descripción detallada de la síntesis del SLQG, referirse a [19].

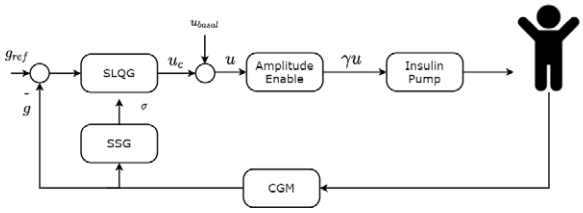


Figura 1: Diagrama en bloques del algoritmo ARG con detección de comidas.

Dado que el controlador no posee acción integral, a u_c se le suma la insulina basal de lazo abierto, resultando u. La señal u es la que comandaría la bomba si la capa de seguridad Amplitude Enable (AE) no estuviera presente.

Sin embargo, la capa AE introduce una restricción en la IOB utilizando control por modo deslizante. Primero, la IOB es estimada utilizando un modelo de dos compartimientos [23]:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{sc1}(t) &= -K_{\text{DIA}} I_{sc1}(t) + u_w(t) \\ \dot{I}_{sc2}(t) &= K_{\text{DIA}} \left[I_{sc1}(t) - I_{sc2}(t) \right] \\ \text{IOB}(t) &= I_{sc1}(t) + I_{sc2}(t), \end{aligned} \tag{1}$$

donde I_{sc1} y I_{sc2} son la cantidad de insulina en los dos compartimientos del espacio subcutáneo, u es la infusión de insulina, y K_{DIA} [min^{-1}] es una constante que debe ser sintonizada para cada persona para replicar la duración de la insulina (DIA) que le corresponde. Para simplificar la sintonización, se toma un DIA de 5 horas para todos los usuarios, por lo tanto K_{DIA} resulta $16{,}3 \times 10^{-3}$[min^{-1}] según [24]. Luego, la IOB estimada es comparada con el límite $\overline{\text{IOB}}$ preestablecido, el cual es personalizado para cada individuo de acuerdo a su CR, resultando en la función de conmutación $\sigma_{\text{SM}} = \overline{\text{IOB}} - \text{IOB}$. La siguiente lógica de conmutación es diseñada dependiendo de σ_{SM}:

$$\omega(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } \sigma_{\text{SM}}(t) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2}$$

Por ende, la señal ω conmuta en alta frecuencia entre 0 y 1 cuando $\overline{\text{IOB}}$ es alcanzado ($T_{AE} = 0{,}1$ min). Luego, ω es promediado, resultando en la señal γ ($\gamma \in [0, 1]$). γ multiplica la infusión de insulina sugerida por el controlador con el fin de evitar que se viole la restricción impuesta en la IOB. Por lo tanto,

la dosis de insulina que termina siendo infundida en el paciente es γu.

Originalmente, IOB era una función constante a trozos. Sin embargo, un estudio posterior demostró que una restricción en la IOB variante en el tiempo de acuerdo al perfil de IOB de lazo abierto de cada usuario [25] obtenía mejores resultados [22].

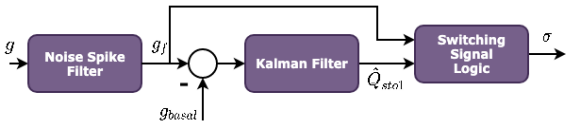


Figura 2: Diagrama en bloques del módulo SSG para la detección de comidas.

La conmutación de K_1 a K_2 puede realizarse mediante un anuncio de comidas o utilizando un algoritmo de detección automática de comidas. En este trabajo, se utiliza el módulo SSG (switching signal generator) presentado en [21] para comandar el modo del controlador. La figura 2 muestra un diagrama en bloques del SSG. Aquí, la señal σ se genera a partir de las lecturas del CGM y una estimación de la cantidad de CHO en el primer compartimento del estómago obtenida con un filtro de Kalman. Por otro lado, la conmutación de K_2 a K_1 se realiza cuando se detecta una tendencia decreciente en las lecutras del CGM (tres muestras consecutivas).

0.2. El Algoritmo ARG Bihormonal

Para extender el algoritmo ARG de mono a bihormonal, se agrega un tercer controlador K_3 encargado de la dosificación del glucagón. La figura 3 muestra un diagrama en bloques de la estructura propuesta.

Para este primer estudio de un ARG bihormonal (ARG_{DH}), se utiliza un algoritmo PD como el presentado en [16] para comandar la infusión de glucagón. La ecuación que representa a K_3 es:

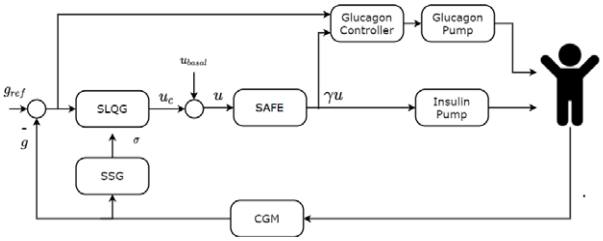


Figura 3: Diagrama en bloques del algoritmo ARG bihormonal propuesto.

$$u_{ggon}[n] = k_p(e[n]+t_d(e[n]-e[n-1])/T_s)-GOB[n] \quad (3)$$

donde k_p es la ganancia proporciona, t_d es el tiempo derivativo, $e[n] = g_{ref} - g[n]$, GOB es la cantidad de glucagón en el cuerpo (glucagon a bordo), T_s es el tiempo de muestreo y $0 \leq u_{ggon} \leq u_{ggonMAX}$. Como el GOB no puede ser medido, éste debe ser estimado. El GOB estimado se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación [16]:

$$GOB[n] = \sum_{k=1}^{90/T_s} u_{ggon}[n-k]\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{kT_s}{G_{1/2}}} \quad (4)$$

donde $G_{1/2}$ es un estimativo de la *half life* promedio del glucagón subcutáneo. La realimentación del GOB en (3) se utiliza para evitar una sobredosis de glucagón. En [16] se reporta un tiempo estimado de 10 minutos para $G_{1/2}$, pero podrían usarse valores más altos para un diseño más conservador.

Las condiciones bajo las cuales se activa K_3 están bajo estudio en este trabajo.

0.3. Diseño del Estudio

El desempeño del ARG_{DH} es evaluado utilizando los 10 sujetos adultos virtuales provistos en el simulador UVA/Padova. Para estudiar el comportamiento del algoritmo frente a distintos tamaños de comidas, se considera un escenario de simulación de 24 horas con 3 comidas de 40, 55 y 70 gCHO. Estas comidas se ingieren a las 7, 13 y 20 horas, respectivamente.

Para el escenario descripto anteriormente, se evalúan los siguientes controladores:

1. El ARG monohormonal sin anuncio de comidas y con la capa de seguridad AE, como se describe en la sección 0.1.

2. El ARG_{DH} con la misma sintonización que el ARG, y con los siguientes criterios de conmutación para el controlador K_3:

Tabla 1: Valores de β para cada sujeto adulto del simulador UVA/Padova.

Adult #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
β	633.2	1214.0	5378.0	459.6	844.6	253.4	103.0	350.8	1285.0	807.2

Tabla 2: Resultados (mediana [Q_{25}-Q_{75}]) para los 10 adultos virtuales del simulador UVA/Padova, usando el ARG y el ARG_{DH} con los diferentes criterios de conmutación. La insulina está en U y el glucagón en mg.

	ARG	$ARG_{DH\text{-}a}$	$ARG_{DH\text{-}b180}$	$ARG_{DH\text{-}b200}$	$ARG_{DH\text{-}b220}$	$ARG_{DH\text{-}c}$	$ARG_{DH\text{-}d}$
BG >180	14,2 [11,9 − 17,1]	14,7 [13,1 − 17,8]	14,3 [12,6 − 17,1]	14,2 [12,8 − 17,2]	14,5 [12,8 − 17,6]	15,2 [13,2 − 18,3]	16,1 [13,2 − 18,1]
BG <70	0,0 [0,0 − 5,7]	0,0 [0,0 − 0,0]	0,0 [0,0 − 5,1]	0,0 [0,0 − 0,0]	0,0 [0,0 − 0,0]	0,0 [0,0 − 0,0]	0,0 [0,0 − 0,0]
BG >250	0,0 [0,0 − 0,0]	0,0 [0,0 − 0,0]	0,0 [0,0 − 0,0]	0,0 [0,0 − 0,0]	0,0 [0,0 − 0,0]	0,0 [0,0 − 0,0]	0,0 [0,0 − 0,0]
TIR	84,6 [79,5 − 88,1]	85,3 [78,0 − 86,9]	84,6 [79,5 − 87,4]	85,8 [80,5 − 87,2]	85,5 [80,6 − 87,2]	83,8 [79,2 − 86,8]	83,9 [80,5 − 86,8]
Ins/día	39,3 [33,7 − 43,6]	40,3 [34,3 − 44,0]	39,3 [33,8 − 43,6]	39,6 [34,2 − 43,7]	39,9 [34,3 − 43,9]	40,1 [34,1 − 43,6]	40,3 [34,7 − 44,1]
Gluc/día	-	0,3 [0,2 − 0,7]	0,1 [0,0 − 0,2]	0,2 [0,1 − 0,4]	0,2 [0,1 − 0,6]	0,4 [0,2 − 0,7]	0,3 [0,2 − 0,9]
Máx gluc	-	2,4	0,2	0,6	1,0	1,8	2,8

- $ARG_{DH\text{-}a}$: debido a que, idealmente, el glucagón no debería entregarse cuando existe infusión de insulina, un enfoque es activar K_3 cuando la dosis de insulina calculada por el controlador de insulina sea $u \leq 0$.
- $ARG_{DH\text{-}b}$: con el fin de evitar dosificaciones de glucagón innecesarias, sumado a la condición anterior se agrega un límite a la glucemia (BG< $\overline{BG}$). Se consideran los siguientes valores para $\overline{BG}$: 180, 200 and 220 mg/dl.
- $ARG_{DH\text{-}c}$: activar K_3 cuando BG $< g_{ref}$, o cuando BG esté en el rango deseado pero decreciendo a una tasa mayor o igual a to 2mg/dl/min. Este criterio fue presentado en [16].
- $ARG_{DH\text{-}d}$: activar K_3 cuando la dosis de insulina calculada u sea menor a $0{,}75 * u_{basal}$. Este criterio fue presentado en [10].

Los parámetros de sintonización considerados para K_3 son: $k_p = 0{,}05/\beta$, $t_d = 10min$, $g_{ref} = 120mg/dl$,$G_{1/2} = 10min$, $u_{ggonMAX} = 0{,}1mg$ donde β es la sensibilidad al glucagón reportada en [26]. Los valores de β reportados en [26] para cada sujeto adulto del simulador se muestra en la tabla 1. Todos los controladores se inicializan en su referencia. El tiempo de muestreo del CGM es de 5 minutos.

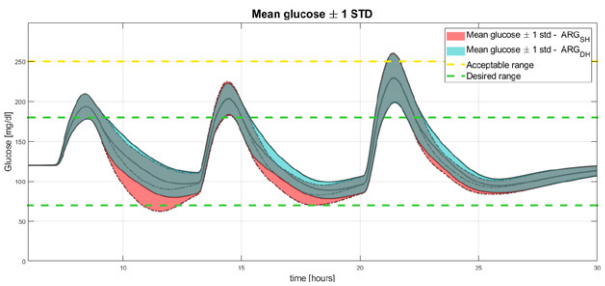


Figura 4: Media ± 1 std de la glucemia vs el tiempo para los 10 adultos del simulador UVA/Padova utilizando el ARG y el ARG_{DH}.

0.4. Resultados

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos para todos los controladores evaluados. Las métricas son mediana [$Q_{25} - Q_{75}$] del % tiempo con BG > 180 mg/dl, % tiempo con BG > 250 mg/dl, % tiempo con BG < 70 mg/dl, % tiempo en rango (TIR) BG $\in [70 - 180]$ mg/dl, insulina diaria total, y glucagón diario total. Adicionalmente, se muestra la dosis máxima de glucagón entregada a un paciente. Esta métrica es importante ya que no se ha demostrado la seguridad de dosis mayores a 1 mg en humanos.

Puede verse que el ARG_{DH} con los criterios (a), (c) y (d) tienen al menos un paciente de los 10 disponibles en el simulador que recibió más de 1 mg de glucagón.

Adicionalmente, se puede observar que el ARG y el $ARG_{DH\text{-}b180}$ son los que presentan más hipoglucemia. Esto es razonable, ya que el $ARG_{DH\text{-}b180}$ entrega dosis muy bajas de glucagón por día. Esto puede significar que el límite propuesto para la BG ($\overline{BG} = 180$ mg/dl) es demasiado restrictivo.

La mediana [$Q_{25} - Q_{75}$] del % tiempo en hiperglucemia severa es cero para todas las configuraciones. Luego, el tiempo en hiperglucemia es ligeramente mayor con el $ARG_{DH\text{-}c}$ y el $ARG_{DH\text{-}d}$. Por otro lado, el $ARG_{DH\text{-}a}$ y el $ARG_{DH\text{-}b}$ con los diferentes valores de $\overline{BG}$ muestran tiempos en hiperglucemia similares al ARG monohormonal.

Además, la cantidad de insulina diaria es prácticamente uniforme con todos los métodos, con el $ARG_{DH\text{-}d}$ presentando levemente un valor mayor, lo cual es acorde a ser la estrategia que más glucagón

infundió. Esto puede ser el resultado de permitir que exista infusión de glucagón cuando la insulina no es cero.

Si se compara los criterios $ARG_{DH\text{-}a}$ y $ARG_{DH\text{-}b}$, queda caro que la limitación impuesta en los valores de BG para activar la acción del controlador de glucagón es clave en el desempeño del controlador. Tener una política más permisiva con la dosificación de glucagón (como el $ARG_{DH\text{-}a}$) en esta configuración de lazo cerrado puede resultar en cantidades mayores a las deseadas de glucagón diarias, y tener una política más restrictiva (como el $ARG_{DH\text{-}b180}$) puede resultar en episodios de hipoglucemia.

La figura 4 muestra la media $\pm$ 1 desviación estándar de la glucemia vs el tiempo para el ARG y el $ARG_{DH\text{-}b220}$. Puede observarse que, tal como se muestra en la tabla 2, el $ARG_{DH\text{-}b220}$ evita los episodios de hipoglucemia sin incrementar la hiperglucemia. Además, las lecturas del CGM son más dispersas para el ARG monohormonal. Es importante destacar que para la comida de 70 gCHO, donde el ARG logra valores postprandiales satisfactorios, el desempeño de ambos controladores es casi idéntico.

Como comparación adicional del comportamiento de los controladores, la figura 5 muestra la evolución temporal de la glucemia, la insulina y el glucagón para el adulto 7 del simulador UVA/Padova usando el ARG y el $ARG_{DH\text{-}b220}$. Puede observarse que efectivamente la infusión del glucagón evita los episodios de hipoglucemia después de las comidas de 40 y 55 gCHO. Además, es importante resaltar que no se infunde glucagón innecesariamente después de la comida de 70 gCHO. Esto puede significar que las condiciones propuestas en el criterio (b) con $\overline{BG} = 220 mg/dl$ son apropiadas. Adicionalmente, se destaca que estos resultados se obtienen sin modificar significativamente la dosis de insulina diaria.

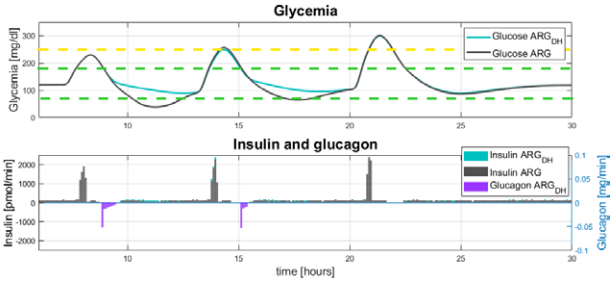


Figura 5: Evolución temporal de la glucemia, insulina y glucagón para el adulto 7 del simulador UVA/Padova usando el ARG y el ARG_{DH}.

Conclusiones

Se llevó a cabo un estudio *in silico* para evaluar el impacto de extender el controlador ARG, originalmente monohormonal, a una estrategia bihormonal. El controlador propuesto se comparó con el ARG. Los resultados sugieren que el ARG bihormonal mejora el desempeño del ARG, eliminando las hipoglucemias sin incrementar las hiperglucemias ni la infusión de insulina. Si bien hoy en día un sistema de control bihormonal es tecnológicamente más complejo y costoso, se espera que el ARG_{DH} pueda ser implementado en el mediano plazo.

Referencias

[1] A. Haidar, "The artificial pancreas: How closed-loop control is revolutionizing diabetes," *IEEE Control Systems*, vol. 36, no. 5, pp. 28–47, Oct 2016. 1

[2] D. Shi, E. Dassau *et al.*, "Adaptive zone model predictive control of artificial pancreas based on glucose- and velocity-dependent control penalties," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 66, no. 4, pp. 1045–1054, 2019. 1

[3] L. Bally, H. Thabit *et al.*, "Day-and-night glycaemic control with closed-loop insulin delivery versus conventional insulin pump therapy in free-living adults with well controlled type 1 diabetes: An open-label, randomised, crossover study," *Lancet Diabetes Endocrinol*, vol. 5, no. 4, pp. 261–270, Apr 2017. 1

[4] G. Steil, "Algorithms for a closed-loop artificial pancreas: The case for proportional-integral-derivative control," *J Diabetes Sci Technol*, vol. 7, no. 6, pp. 1621–1631, Nov 2013. 1

[5] T. Ly, A. Roy *et al.*, "Day and night closed-loop control using the integrated Medtronic hybrid closed-loop system in type 1 diabetes at diabetes camp," *Diabetes Care*, vol. 38, no. 7, pp. 1205–1211, Jul 2015. 1

[6] A. Beneyto and J. Vehi, "Postprandial fuzzy adaptive strategy for a hybrid proportional derivative controller for the artificial pancreas," *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 56, no. 11, pp. 1973–1986, Nov. 2018. 1

[7] R. Mauseth, I. Hirsch *et al.*, "Use of a fuzzy logic controller in a closed-loop artificial pancreas," *Diabetes Technology and Therapeutics*, vol. 15, no. 8, pp. 628–633, 8 2013. 1

[8] R. S. Sánchez-Peña and D. R. Cherñavvsky, *The Artificial Pancreas: Current Situation and Future Directions*. Academic Press, 2019. 1

[9] A. Abitbol, R. Rabasa-Lhoret *et al.*, "Overnight glucose control with dual- and single-hormone artificial pancreas in type 1 diabetes with hypoglycemia unawareness: A randomized controlled trial," *Diabetes Technology & Therapeutics*, vol. 20, no. 3, pp. 189–196, Mar. 2018. 1, 2

[10] V. Moscardó, P. Herrero *et al.*, "Coordinated dual-hormone artificial pancreas with parallel control structure," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 128, pp. 322–328, Sep. 2019. 1, 4

[11] J. R. Castle, J. El Youssef *et al.*, "Randomized outpatient trial of single- and dual-hormone closed-loop systems that adapt to exercise using wearable sensors," *Diabetes care*, vol. 41, no. 7, pp. 1471–1477, Jul. 2018. 1, 2

[12] H. Blauw, A. C. van Bon *et al.*, "Performance and safety of an integrated bihormonal artificial pancreas for fully automated glucose control at home," *Diabetes, obesity & metabolism*, vol. 18, no. 7, pp. 671–677, Jul. 2016. 1, 2

[13] F. H. El-Khatib, C. Balliro *et al.*, "Home use of a bihormonal bionic pancreas versus insulin pump therapy in adults with type 1 diabetes: A multicentre randomised crossover trial," *Lancet (London, England)*, vol. 389, no. 10067, pp. 369–380, Jan. 2018. 1

[14] T. M. Peters and A. Haidar, "Dual-hormone artificial pancreas: benefits and limitations compared with single-hormone systems," *Diabet. Med.*, vol. 35, no. 4, pp. 450–459, Apr. 2018. 1

[15] A. Haidar, M. R. Smaoui *et al.*, "The role of glucagon in the artificial pancreas," *Lancet Diabetes Endocrinol.*, vol. 4, no. 6, pp. 476–9, 2016. 1

[16] F. El-Khatib, S. Russell *et al.*, "A bihormonal closed-loop artificial pancreas for type 1 diabetes," *Science Translational Medicine*, vol. 2, no. 27, p. 27ra27, 2010. 1, 2, 3, 4

[17] W. Ward, J. Castle *et al.*, "Safe glycemic management during closed-loop treatment of type 1 diabetes: the role of glucagon, use of multiple sensors and compensation for stress hyperglycemia," *J Diabetes Sci Technol*, vol. 5, pp. 1373–1380, 2011. 1

[18] A. Haidar, M. A. Tsoukas *et al.*, "A novel dual-hormone insulin-and-pramlintide artificial pancreas for type 1 diabetes: A randomized controlled crossover trial," *Diabetes Care*, p. dc191922, Jan. 2020. 2

[19] P. Colmegna, F. Garelli *et al.*, "Automatic regulatory control in type 1 diabetes without carbohydrate counting," *Control Eng Pract*, pp. 22–32, 2018. 2

[20] R. Sánchez-Peña, P. Colmegna *et al.*, "Artificial pancreas: Clinical study in Latin America without premeal insulin boluses," *J Diabetes Sci Technol*, vol. 12, no. 5, pp. 914–925, 2018. 2

[21] E. Fushimi, P. Colmegna *et al.*, "Artificial pancreas: Evaluating the arg algorithm without meal announcement," *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 13, no. 6, pp. 1035–1043, 2019. 2, 3

[22] E. Fushimi, M. C. Serafini *et al.*, "Automatic glycemic regulation for the pediatric population based on switched control and time-varying iob constraints: an in silico study," *Medical and Biological Engineering and Computing*, 2020. 2, 3

[23] C. Dalla Man, R. Rizza *et al.*, "Meal simulation model of the glucose-insulin system," *IEEE Trans Biomed Eng*, vol. 54, no. 10, pp. 1740–1749, 2007. 2

[24] F. León-Vargas, F. Garelli *et al.*, "Postprandial response improvement via safety layer in closed-loop blood glucose controllers," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 16, pp. 80 – 87, 2015. 2

[25] E. Fushimi, N. Rosales *et al.*, "Artificial pancreas clinical trials: Moving towards closed-loop control using insulin-on-board constraints," *Biomed Signal Process Control*, vol. 45, pp. 1–9, Aug. 2018. 3

[26] V. Moscardó, "Contributions to modelling and control for improved hypoglycaemia and variability mitigation by dual-hormone artificial pancreas systems," Ph.D. dissertation, Universitat Politecnica de Valencia, 2019. 4

Evaluación de técnicas de aprendizaje por refuerzo para la adaptación de controladores de páncreas artificial*

María Cecilia Serafini, Nicolás Rosales, Fabricio Garelli
GCA, LEICI (UNLP-CONICET), Facultad de Ingeniería, UNLP; CICpBA
Email: cecilia.serafini@ing.unlp.edu.ar

Introducción

La Diabetes Mellitus Tipo 1 (DMT1) es una enfermedad auto-inmune caracterizada por la imposibilidad de producir insulina. Los pacientes con DMT1 presentan altos niveles de glucemia, lo cual tiene graves consecuencias para la salud si se mantiene por tiempos prolongados (como ceguera, amputación, entre otras).

El desarrollo de bombas de insulina y sensores de medición continua de glucosa (CGM) ha permitido la posibilidad de incorporar algoritmos de control para regular la infusión de insulina de manera automática o asistida. A estos sistemas se los denomina como Páncreas Artificial (PA).

Como cada persona con diabetes tiene un proceso metabólico particular y responde de manera diferente a los mismos tratamientos que otras personas (variabilidad inter-paciente) o incluso puede tener cambios de respuesta según la hora del día o el estado físico/emocional en que se encuentre (variablidad intra-paciente) es que resulta de suma importancia poder personalizar los tratamientos.

El Aprendizaje por Refuerzo o Reinforcement Learning (RL) es una rama del conjunto de herramientas conocidas como Machine Learning, en la cual un *agente* aprende por repeticiones sucesivas y su interacción con un entorno que, estando en un cierto estado y dada cierta acción, devuelve otro estado y una recompensa asociada. Es un campo cuyo marco teórico ha sido ampliamente desarrollado desde la década del '80 y solo recientemente, gracias a los avances de la capacidad computacional, está comenzando a ser considerado para aplicaciones prácticas [1].

En el área de PA existen algunos trabajos recientes explorando herramientas de RL para reemplazar el control glucémico automático, en particular, configuraciones Actor-critic [2] y procesos Gaussianos [3]. Uno de los algoritmos más conocidos de RL es el llamado Q-Learning el cual se destaca por su simplicidad y relativa facilidad de implementación. Pueden encontrarse trabajos previos incorporando algoritmos de Q-Learning a un sistema de lazo cerrado en reemplazo del controlador [4]. Sin embargo, una de las mayores críticas al RL es que, al reemplazar un controlador por un agente entrenado, el control se convierte en una "caja negra" lo cual puede tener implicancias graves en sistemas con nolinealidades o restricciones fuertes en cuanto a robustez.

En este trabajo se investiga el potencial de aplicación de Q-Learning para la adaptación de parámetros de sintonización de un controlador previamente probado en ensayos clínicos de corto plazo: el algoritmo de control glucémico Automatic Regulation of Glucose (ARG) (ver sección 2.1 [5]). Con este fin, se desarrolla un código propio para la adaptación por Q-Learning de controladores de lazo cerrado, cuyo funcionamiento se ilustra en primer lugar en un modelo dinámico sencillo. Luego, el desempeño de la adaptación propuesta para el controlador ARG se evalúa sobre la población adulta del simulador UVA/Padova, validado por la FDA [6].

Desarrollo y discusión

1. Reinforcement Learning

RL es una técnica de machine learning que fue desarrollada inicialmente por Sutton y Barto [7]. Desde sus primeras definiciones han sido de gran interés especialmente en áreas de control, dado el paralelismo de su estructura con los sistemas de lazo cerrado convencionales.

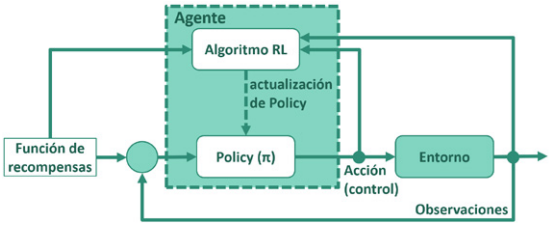


Figura 1: Estructura simplificada de un sistema de Reinforcement Learning.

La estructura básica de un sistema de RL (ver Fig. 1) consiste en un algoritmo que recibe observaciones de un entorno y "aprende" de manera iterativa una función con la que luego se tomarán decisiones que modifican dicho entorno. Sus parámetros principales son: α: paso de simulación; ε: probabilidad de exploración de acciones; $Q(s,a)$: función de valores de estado/acción, que representa los valores de tomar cada una de las acciones estando en cada estado particular; y π: *policy*, función o mapa de estados a acciones que, dado un estado s, devuelve la acción a que maximiza Q.

*trabajo publicado previamente en AADECA 2020: 27 Congreso Argentino de Control Automático

Palabras Clave: páncreas artificial, aprendizaje por refuerzo, reinforcement learning, lazo cerrado, diabetes mellitus tipo I

Contacto: Grupo de Control Aplicado, Instituto LEICI (UNLP-CONICET), FI, UNLP Calle 48 y 116, CC 91 (1900), La Plata

Uno de los problemas con el esquema básico de RL es que los controladores son reemplazados por una *policy* resultante del aprendizaje de un agente. Eso implica tener un control de tipo "caja negra", lo cual en muchas aplicaciones no es deseable. Esto puede subsanarse considerando a los controladores como parte del entorno con el que el agente interactúa y generando una *policy* que modifique algún parámetro de esos controladores en lugar de reemplazarlos totalmente. Dicha configuración puede verse en la Fig. 2. Esta técnica ha ganado terreno en los últimos años, particularmente en el área de robótica, siendo utilizada para modificación de ganancias en controladores PID [8].

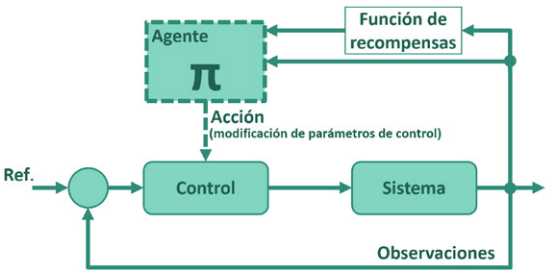


Figura 2: Estructura simplificada de un sistema de Reinforcement Learning.

En particular en el área de PA, el desarrollo de controladores es un área ampliamente explorada, aunque con foco en el control de corto plazo o postprandial. Por esto mismo, es de particular interés considerar alguna configuración que no reemplace por completo el controlador sino que asista en su adaptación, especialmente para la compensación de la variabilidad inter-paciente e intra-paciente en el mediano y largo plazo.

1.1. Estrategia de Adaptación por Q-Learning

Q-learning es uno de los algoritmos de aprendizaje por refuerzo existentes. Su desarrollo básico se muestra en el Algoritmo 1. Para este trabajo se desarrolló un código propio para la adaptación por Q-Learning, considerando 2 estados y una *policy* representada tabularmente. La discretización de los espacios de acciones y estados se realizó en forma manual.

Algoritmo 1: Algoritmo básico de Q-Learning.

Definir paso de simulación $\alpha \in (0, 1]$, ε: probabilidad de exploración de acciones, pequeño > 0
Inicializar $Q(s, a)$ para todo $s \in S$, $a \in A$ arbitrariamente excepto que $Q(terminal, :) = 0$
Repetir para cada episodio *(set de 3 simulaciones completas)*
  Inicializar $s \in S$ (definir un valor de Ganancia inicial y correr una simulación completa para extraer los estados)
  Repetir para cada paso del episodio *(cada paso es una simulación completa)*
    Elegir $a \in A$ según el s en el que esté, a través de Q siguiendo alguna *policy* (por ejemplo ε-greedy)
    Tomar acción a, observar recompensas R y estado siguiente s'
    Buscar la acción maximizadora desde s' : $\max_a Q(s', a)$. Con todo lo anterior, actualizar Q:
    $Q(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha[R + \gamma \cdot \max_{a \in A} Q(s', A) - Q(s, a)]$
    $s \leftarrow s'$
  hasta *que s sea terminal (fin del episodio)*
hasta *llegar al límite de episodios*

Se utilizó una estrategia de aprendizaje llamada ε-greedy (ver Algoritmo 2), la cual consiste en observar el estado actual y, bajo una probabilidad $(1 - \varepsilon)$, tomar la mejor acción hasta el momento. En el resto de los casos se toma una acción aleatoria. Esto asegura que todas las acciones posibles sean exploradas. Por otra parte, para permitir que a lo largo del tiempo la exploración de acciones decrezca, se definió ε de forma tal que su valor decrece a medida que se visita un estado.

Algoritmo 2: estrategia *ε-greedy* con ε decreciente.

$N_0 =$ parámetro que define que tan rápido decrece ε
$N(s) =$ contador de visitas para cada estado
Para cada *estado s visitado*
  $N(s) \leftarrow N(s) + 1$
  $\varepsilon = N_0/(N_0 + N(s))$
  if $rand < \varepsilon$ **then**
    tomo acción aleatoria (con probabilidad ε)
  else
    tomo acción $= \max_{a \in A} Q(s, a)$
  end
end

De la misma forma que se implementó el ε decreciente, se tomó un valor de paso de simulación que decrece a medida que se visita cada acción usando la regla: $\alpha = 1/N(s,a)$ donde $N(s,a)$ es el número de veces que la acción a se tomó desde el estado s. De esta forma se equilibra la importancia dada a las diferentes acciones al actualizar el valor de Q, lo cual evita que las acciones más frecuentes cambien el valor de Q de manera desproporcionada.

1.2. Adaptación de lazos de control: ejemplo ilustrativo

Para probar el funcionamiento general del algoritmo de adaptación se realizaron pruebas en un sistema de lazo cerrado sencillo con un controlador proporcional actuando sobre una planta con un polo y un retardo con función de transferencia:

$$P(s) = \frac{e^{-10s}}{200s + 1} \tag{1}$$

Se definió como **episodio** a 3 simulaciones completas del sistema en cuestión y cada simulación se consideró como un **paso** de ese episodio. Los estados del algoritmo se definieron como $s = (s_1, s_2)$, donde s_1 representa el error de estado estacionario discretizado, y s_2 el valor de sobrepico discretizado. El espacio de acciones disponibles para el algoritmo de RL fue

$$A = [0\,\%, \pm 1\,\%, \pm 2\,\%, \pm 3\,\%, \pm 4\,\%, \pm 5\,\%, \pm 10\,\%, \pm 20\,\%] \tag{2}$$

Estas acciones se aplicaron directamente sobre la ganancia K_p del controlador en cada paso.

$$r = \begin{cases} -100 * 10^{(s_1 - ESS_{max})} & si\ s_1 > ESS_{max} \\ -1 * 10^{(s_2 - SP_{max})} & si\ s_1 \leq ESS_{max} \\ & y\ s_2 > SP_{max} \\ +10 & c.c., \end{cases}$$

Se diseñó la función de recompensas como se muestra en la ecuación, donde ESS_{max} es el valor máximo de s_1 aceptado, y SP_{max} el valor máximo de s_2 aceptado. Con esta configuración, el algoritmo recibe recompensas más negativas cuanto más alejado esté del objetivo de error, dándole mayor importancia al error de estado estacionario y en segundo lugar (con dos ordenes de magnitud de diferencia), al valor de sobrepico.

$$K_p = \begin{cases} K_p * (1 + a) & si\ \ s_1 > ESS_{max} \\ K_p * (1 - a) & si\ \ s_1 \leq ESS_{max} \\ & y\ \ s_2 > SP_{max} \\ K_p & c.c., \end{cases}$$

Se consideró una adaptación manual para compararla con la *policy* resultante. Para esto se tomaron como posibles acciones $a \in \{5\,\%, 10\,\%, 20\,\%\}$ y, para que la comparación sea válida, se consideró un esquema de decisiones con la misma estructura que las recompensas, utilizando una única acción manual para aumento o decremento de la ganancia como se muestra en la ecuación, donde a es el valor de la acción manual actual.

En la Fig. 3 se puede ver la comparación del proceso de adaptación de K_p por ambos métodos. La aplicación de la *policy* obtenida mediante Q-learning alcanza de manera más eficiente y rápida la zona deseada impuesta por las condiciones más restrictivas y luego ajusta de manera suave hasta cumplir las condiciones más específicas. Para lograr el mismo resultado de manera manual, se tendría que diseñar un árbol de decisiones que dependería de la cantidad de acciones disponibles. Con RL las condiciones de comparación son siempre las mismas y el algoritmo aprende de qué acción es más conveniente según el estado en que se encuentra, respondiendo al diseño de la recompensa.

Se realizaron distintas pruebas cambiando las condiciones de discretización de estados y acciones para poder analizar en detalle el efecto de dichos cambios. Una conclusión no trivial de esto fue que la forma de discretización de los estados considerados y las acciones posibles a tomar cambia considerablemente los resultados y es muy dependiente del problema en cuestión.

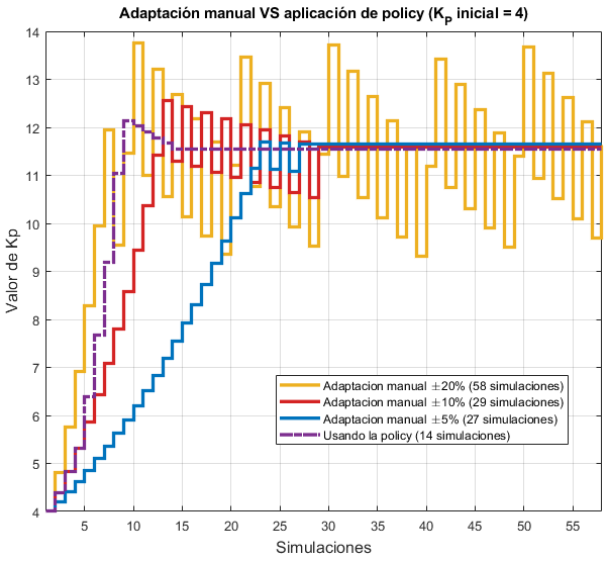


Figura 3: Comparación de resultados obtenidos con aplicación de *policy* generada por RL y adaptación manual de ganancia.

2. Adaptación de algoritmo ARG vía Reinforcement Learning

2.1. Algoritmo ARG: Automatic Regulation of Glucose

La terapia tradicional para la DMT1 consiste en dosis de insulina basal y bolos de insulina prandial para compensar las comidas, las cuales son calculadas e infundidas manualmente mediante lapiceras o bombas de insulina. Sin embargo, este control manual o de lazo abierto posee varias desventajas (posible error en el conteo de carbohidratos), por lo que interesa desarrollar estrategias de lazo cerrado híbridas o puramente automáticas para abordar el tratamiento de la DMT1 [9]. La Figura 4 muestra un diagrama en bloques del algoritmo ARG, desarrollado en conjunto con el ITBA y probado en los primeros ensayos clínicos de Latinoamérica [5].

Éste consiste en un controlador principal Switched Linear Quadratic Gaussian (SLQG) al que se le suma el suministro de insulina basal de lazo abierto del paciente. El SLQG conmuta entre un controlador agresivo, que se encarga de reemplazar al bolo de lazo abierto para compensar las comidas, y uno conservador para mantener al paciente en el rango deseado de glucemia ($[70 - 180]$ mg/dl) en períodos de ayuno. La dosis de insulina que indica el SLQG es multiplicada por una señal γ calculada en el bloque Safety Auxiliary Feedback Element (SAFE), que tiene como función modular la infusión de insulina cambiando el límite de Insulina a Bordo (IOB) para evitar posibles hipoglucemias. El límite de IOB ($\overline{\text{IOB}}$) tiene comúnmente una forma constante a tramos, y se define según el aviso de ingesta de la siguiente manera:

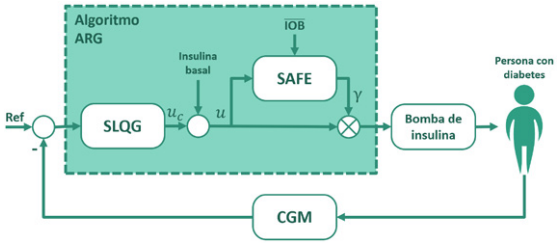


Figura 4: Diagrama en bloques del algoritmo ARG.

- Comidas pequeñas < 35 gCHO:
  $\overline{\text{IOB}}_{\text{s}}(t) = \text{IOB}_{\text{ss}}(t) + 40$ gCHO/CR(t).
- Comidas medianas $[35, 65)$ gCHO:
  $\overline{\text{IOB}}_{\text{m}}(t) = \text{IOB}_{\text{ss}}(t) + 55$ gCHO/CR(t).
- Comidas grandes ≥ 65 gCHO:
  $\overline{\text{IOB}}_{\text{l}}(t) = \text{IOB}_{\text{ss}}(t) + 70$ gCHO/CR(t),

donde $\text{IOB}_{\text{ss}}(t)$ es el valor de estado estacionario de IOB ante la tasa de insulina basal correspondiente a cada paciente, y XX gCHO/CR(t) es el bolo de insulina correspondiente a XX gramos de carbohidratos (gCHO) usando el factor Carbohydrate Ratio (CR) del paciente al momento de la comida. Cuando el sistema no se encuentra en situación prandial el límite de IOB se fija como $\overline{\text{IOB}}_{\text{s}}(t)$, es decir, el asociado a una comida chica. De esta forma, se le da cierta libertad al controlador para realizar ajustes en la infusión basal cuando sea necesario. Para una explicación más detallada del funcionamiento del algoritmo ARG referirse a [5, 10].

2.2. Pruebas *in silico*

El objetivo de estas primeras pruebas fue modificar el límite $\overline{\text{IOB}}$ multiplicándolo por un valor K de manera que se adapte apropiadamente para cada individuo, a fin de encontrar un compromiso entre el objetivo de evitar las hipoglucemias y pasar el menor tiempo posible en hiperglucemia. Para esta evaluación preliminar se consideró la población adulta del simulador UVA/Padova. Se inicializó el parámetro K en un valor aleatorio $(0{,}5 \leq K \leq 2)$, emulando situaciones reales en las cuales, ya sea por error humano, por diferencias entre terapias o por cambios de hábito en la vida de la persona con diabetes, su CR conocido hasta el momento no es el apropiado para ella, o bien la definición de $\overline{\text{IOB}}$ arriba presentada resulta inicialmente en un mal control glucémico.

El escenario de entrenamiento incluyó los 10 individuos adultos del simulador UVA/Padova y tres comidas con un total de 200 gCHO: desayuno a las 7hs, almuerzo a las 12hs y la cena a las 20hs de 60, 80 y 60 gCHO, respectivamente. A continuación se lista un resumen de los parámetros de RL utilizados

- Episodio: 3 simulaciones completas. En cada episodio se inicializa aleatoraiamente la ganancia proporcional K que modifica el $\overline{\text{IOB}}$ $(0{,}5 \leq K \leq 2)$.
- Paso de simulación: 1 simulación completa (24hs)
- Espacio de estados: $s \in S$, donde cada s es de la forma $s = (s_1, s_2)$ y s_1, s_2 representan los porcentajes de tiempo en hipo e hiperglucemia discretizados, calculados despues de cada paso de simulación.

- Espacio de acciones: $A = [0\,\%, \pm 5\,\%, \pm 10\,\%, \pm 20\,\%, \pm 50\,\%]$ aplicadas sobre K
- Función de recompensas:

$$r = \begin{cases} -100 * 10^{(s_1 - hypo_{max})} & \text{if } s_1 > hypo_{max} \\ -1 * 10^{(s_2 - hiper_{max})} & \text{if } s_1 \leq hypo_{max} \\ & \text{and } s_2 > hyper_{max} \\ +10 & c.c. \end{cases} \tag{3}$$

  donde $hypo_{max} = 20$ y $hyper_{max} = 2{,}5$ son los valores máximos admitidos para s_1 y s_2, respectivamente.
- $\gamma = 0{,}1$, ε y α como se definieron en la sección 1.1
- s_1 (porcentaje de tiempo en hipoglucemia) fue discretizado en $[0|1|2{,}5|5|10|12|15|20|25]$
- s_2 (porcentaje de tiempo en hiperglucemia) fue discretizado en $[0|5|10|15|20|25|30|35|40|45|50]$

A modo de ejemplo, la Fig. 5 muestra la evolución de la glucemia, la inyección de insulina, la estimación de IOB y su límite para el paciente adulto #4 del simulador UVA/Padova antes (curvas violeta) y después (curvas naranjas) de la adaptación del límite de IOB. Como puede observarse en la glucemia resultante, la sintonización del controlador resultante logra evitar las hipolucemias (objetivo primario) y reducir la excursión glucémica. Si bien como contrapartida se incrementa el tiempo en hiperglucemia, no se incrementan los valores máximos alcanzados. Además se reduce notablemente la infusión de insulina.

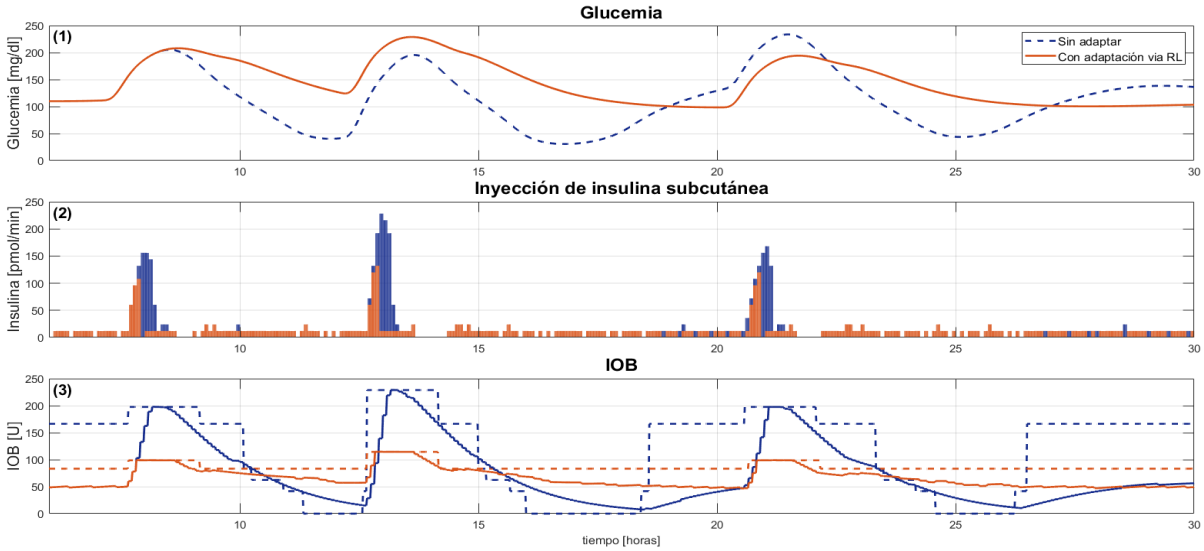


Figura 5: Simulación para el adulto #4 del simulador UVA/Padova. Para el sistema sin adaptar (violeta) y el adaptado via RL (naranja). Cuadro (3): IOB (línea sólida) e $\overline{\text{IOB}}$ (línea punteada).

$$K = \begin{cases} K * (1 - a) & si \;\; s_1 > hypo_{max} \\ K * (1 + a) & si \;\; s_1 \leq hypo_{max} \\ & y \;\; s_2 > hiper_{max} \\ K & c.c., \end{cases}$$

Se compararon los resultados obtenidos mediante aplicación de policy con los obtenidos mediante la aplicación de acciones manuales $a \in \{5\,\%, 10\,\%, 20\,\%\}$ bajo el esquema mostrado en la ecuación. Se consideró que la sintonización llega a una condición final cuando la acción tomada sobre K es 0 % y que diverge si no se llega a un valor estable de K en 20 simulaciones.

La tabla 1 resume los resultados obtenidos *in silico*. En primer lugar se puede observar que la adaptación aplicando RL, para toda la población adulta, logra en pocos episodios reducir totalmente la hipoglucemia y ninguna de las acciones manuales por sí solas logran el mismo resultado. Es destacable notar que en varios casos la adaptación manual no logra converger a un valor de K. Esto se da porque la restricción de valores máximos permitidos impone condiciones que no son posibles de cumplir para algunos individuos. Por el contrario, el algoritmo de RL siempre logra establecer un valor de K que, respondiendo al esquema de recompensas, le da mayor importancia a reducir el tiempo de hipoglucemia, aún en los casos donde es imposible satisfacer por completo los requerimientos. Este resultado es de particular significancia ya que permite concluir que el algoritmo de RL aprende a converger en un valor

Tabla 1: Porcentaje de tiempo en hiper e hipoglucemia final e inicial y cantidad de simulaciones necesarias vía adaptación del límite de IOB mediante *policy* de RL y de manera manual (acciones disponibles: $\pm 10\,\%, \pm 20\,\%, \pm 50\,\%$).

K inicial	Persona	Hipo inicial	Hiper inicial	K final				Hipo final				Hiper final				Episodios			
				Policy	$\pm 10\,\%$	$\pm 20\,\%$	$\pm 50\,\%$	Policy	$\pm 10\,\%$	$\pm 20\,\%$	$\pm 50\,\%$	Policy	±10	±20	±50	Policy	$\pm 10\,\%$	$\pm 20\,\%$	$\pm 50\,\%$
1.64	adult#01	20.47	17.42	0.82	1.33	1.31	1.23	0	0	0	0	24.15	16.17	16.24	16.59	2	3	2	3
	adult#02	21.1	9.99	0.82	1.2	1.05	0.82	0	0	0	0	17.56	14.02	13.95	17.56	2	4	3	2
	adult#03	13.67	20.54	1.31	1.33	1.31	1.23	0	0	0	0	15.2	15.27	15.2	15.27	2	3	2	3
	adult#04	25	15.41	0.82	1.08	1.05	1.04	0	0	0	0	26.3	18.39	19.01	19.15	2	5	3	8
	adult#05	25	16.86	0.9	1.2	1.18	0.83	0	0	0	25	27.41	19.78	19.92	16.93	3	4	17	>20
	adult#06	18.6	24.08	0.82	1.21	1.09	0.83	0	0	18.6	18.95	25.05	22.14	22.83	23.87	2	>20	>20	>20
	adult#07	25	35.6	1.11	1.21	1.09	0.83	0	0	19.78	25	27.48	28.11	34.63	35.05	4	>20	>20	>20
	adult#08	25	19.85	0.82	0.99	1.09	0.83	0	5.69	0	0	29.08	23.25	26.3	44.97	2	>20	>20	>20
	adult#09	25	18.39	0.82	1.21	1.09	0.83	0	0	19.57	25	27.48	21.79	20.12	18.46	2	>20	>20	>20
	adult#10	22.97	10.76	0.82	1.2	0.84	0.82	0	1.39	0	0	15.2	9.23	14.23	15.2	2	4	4	2

que reduzca lo más posible la distancia con los requerimientos, sin necesidad de imponer una restricción adicional para evitar una posible divergencia.

Por otra parte, observando el valor de K final al que llegan las diferentes adaptaciones, es evidente que el algoritmo de RL es más conservador a la hora de permitir un aumento en el valor de $\overline{\text{IOB}}$. Esto muestra la fuerte incidencia de la definición de las recompensas en el resultado final, la cual fue realizada en este caso priorizando especialmente la reducción de hipoglucemias.

Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo se analizaron los alcances y limitaciones de la técnica de Q-Learning para su aplicación en la adaptación de controladores de un sistema de páncreas artificial. Los resultados muestran que es una herramienta con gran potencial, ya que el control glucémico se trata de un problema que requiere limitaciones fuertes sobre determinadas condiciones (como por ejemplo, evitar hipoglucemias severas).

Como trabajo futuro se podría considerar la adaptación de otros parámetros del controlador (ej. ganancias agresiva y conservativa), su utilización en sistemas de soporte de decisión para pacientes con terapia MDI o con bomba de insulina a lazo abierto, entre otras aplicaciones. Asimismo, se espera poder explorar el efecto de la definición de recompensas para un balance más equilibrado entre hipo e hiperglucemia sin comprometer la excursión glucémica y considerar esquemas de discretización incremental o estados/acciones contínuas de manera de poder graduar la agresividad y los pasos de la adaptación.

Referencias

[1] E. Daskalaki, P. Diem *et al.*, "Model-free machine learning in biomedicine: Feasibility study in type 1 diabetes," *PLoS One*, vol. 11, no. 7, pp. 1–20, 2016. 1

[2] Q. Sun, M. V. Jankovic *et al.*, "A Dual Mode Adaptive Basal-Bolus Advisor Based on Reinforcement Learning," *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 23, no. 6, pp. 2633–2641, 2019. 1

[3] M. De Paula, L. O. Ávila *et al.*, "Controlling blood glucose variability under uncertainty using reinforcement learning and Gaussian processes," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 35, p. 310, 2015. 1

[4] P. D. Ngo, S. Wei *et al.*, "Control of Blood Glucose for Type-1 Diabetes by Using Reinforcement Learning with Feedforward Algorithm," *Comput. Math. Methods Med.*, vol. 2018, 2018. 1

[5] R. Sánchez-Peña, P. Colmegna *et al.*, "Artificial Pancreas: Clinical Study in Latin America Without Premeal Insulin Boluses," *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 12, no. 5, pp. 914–925, 2018. 1, 4

[6] C. Dalla Man, F. Micheletto *et al.*, "The UVA/PADOVA type 1 diabetes simulator: New features," *J. Diabetes Sci. Technol.*, 2014. 1

[7] R. S. Sutton and A. G. Barto, *Reinforcement Learning: An Introduction*, 1st ed. MIT Press, 1998. 1

[8] I. Carlucho, M. De Paula *et al.*, "Double Q-PID algorithm for mobile robot control," *Expert Syst. Appl.*, vol. 137, pp. 292–307, 2019. 2

[9] A. Haidar, "The Artificial Pancreas: How Closed-Loop Control Is Revolutionizing Diabetes," *IEEE Control Syst.*, vol. 36, no. 5, pp. 28–47, oct 2016. 4

[10] P. Colmegna, F. Garelli *et al.*, "Automatic regulatory control in type 1 diabetes without carbohydrate counting," *Control Eng. Pract.*, vol. 74, pp. 22–32, 2018. 4

SISTEMA SATELITAL ARGENTINO DE RECOLECCIÓN DE DATOS: PROTOCOLOS DE ACCESO

Uriona, Hugo N.[1], Sager, Gerardo E. [2]

[1] Depto de Ciencias Básicas Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata
huriona@ing.unlp.edu.ar
[2] Grupo de Investigación y Desarrollo en Comunicaciones Digitales (GrIDComD) Depto de Electrotecnia Facultad de Ingeniería, UNLP - Calle 116 s/n La Plata, Argentina.

Palabras clave: Aloha, colisiones, DCS, DCP

INTRODUCCIÓN

El sistema DCS Argentino, puede verse desde el punto de vista de las redes de comunicaciones, como un enrutador de mensajes del tipo conocido como “Store and Forward”, en efecto, los mensajes recibidos por el receptor ubicado en el satélite se almacenan en una memoria a bordo y luego son descargados durante los contactos que se establecen con las estaciones terrenas. Se toma como referencia la Misión SAC-D/Aquarius, donde fue embarcado un receptor DCS que estuvo operativo exitosamente entre agosto de 2011 y junio de 2015.

El sistema está diseñado para que sea compatible con los sistemas ARGOS (Franco-estadounidense) y SCD (brasileño), operando en frecuencias similares. y utilizando el mismo formato de mensajes.

Se puede pensar que cada vez que el satélite tiene a la vista un grupo de estaciones transmisoras, se configura una red ad-hoc, con una duración limitada por el tiempo en que los transmisores están a la vista. Esta red, que puede asimilarse a una capa de acceso al medio (Enlace de Datos) en el modelo estándar ISO-OSI, se modifica a medida que el satélite deja de tener en vista unas estaciones y comienza a recibir mensajes de otras que ahora aparecen en su campo de visibilidad.

Se analizarán los casos de distintas longitudes de mensaje y distinta tasa de repetición y se introducirá el corrimiento Doppler de las transmisiones que llegan al satélite, como una variable que restringe la cantidad de estaciones que efectivamente compiten por el acceso al medio. En efecto, dado que las estaciones no están coordinadas ni sincronizadas temporalmente, estamos ante un sistema de tipo ALOHA, pero con la particularidad que en un momento dado sólo podrían colisionar entre sí, las transmisiones cuyo corrimiento Doppler las mantengan dentro del ancho de banda del canal del receptor.

El sistema ALOHA, tiene en cuenta que se producen colisiones y puede demostrarse que llega a tener una eficiencia de canal máxima de 18% . Esta es baja en comparación con otros sistemas, pero dado que los datos que se envían son de tipos ambientales o biológicos donde unas pocas mediciones semanales son suficientes, la simplicidad de implementación compensa este factor.

A partir de esta situación se intenta evaluar si existen estrategias de despliegue de estaciones transmisoras para el sistema DCS que permitan optimizar la capacidad del sistema.

Si bien hay estudios previos para el sistema ARGOS, que como ya se mencionó, es compatible con el sistema argentino, las características geográficas del territorio nacional, continental, insular y sector antártico, junto con las órbitas polares que suelen utilizarse para los satélites argentinos, hacen presumir que puede haber una estrategia de despliegue de estaciones, asignación de frecuencias, asignación de intervalos de transmisión y/o una

combinación de todas ellas, que permitan optimizar la cantidad de estaciones terrestres que un receptor dado puede adquirir.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

1. Descripción del Sistema DCS

El sistema DCS consta de tres segmentos: Espacial, Terrestre y de Usuario.[1],[2]

Segmento Espacial o Receptor embarcado en el satélite:

Consiste en el receptor embarcado en el satélite, junto con los sistemas de almacenamiento y transmisión a tierra. La órbita del satélite es del tipo polar y helio-sincrónica, con una inclinación de 98º, una altura aproximada de 660km y estas características producen entre 4 y 6 pasos diarios en el territorio continental argentino, la mitad es ascendente, es decir de sur a norte y la otra mitad descendente, es decir en sentido contrario. El periodo orbital es de alrededor de 98 minutos y el lapso durante el cual puede visibilizarse el satélite en el territorio continental argentino, varía entre 3 minutos y 12 minutos. Considerando la cantidad de pasadas por día y la duración de las mismas, en promedio tenemos 4 pasadas útiles por día, con un total de 28 por semana.

Los pasos de mayor duración, corresponden a las ubicaciones situadas sobre la traza del satélite y los pasos más cortos a las ubicaciones donde el satélite se puede visualizar con una elevación menor a 90º. En el caso del SAC-D/Aquarius, se definió una frecuencia de revisita de una vez cada 7 días, esto es el satélite pasa cada 7 días por la misma ubicación, respecto a la tierra.

Segmento Terrestre:

Consiste en la infraestructura destinada a la recepción y procesamiento de los datos obtenidos por el receptor a bordo del satélite, incluyendo la descarga, validación clasificación y distribución a los usuarios de los mensajes obtenidos. En el caso de referencia analizado se utilizó la Estación Terrena Córdoba (ETC), ubicada en Falda del Carmen y perteneciente a la CoNAE.

Segmento de Usuario:

Consiste en las plataformas de recolección de datos, compuestas de diferentes tipos de sensores, y el Terminal Transmisor de la Plataforma (PTT). El conjunto se denomina Plataforma Recolectora de Datos (DCP por sus siglas en inglés).

La duración de la transmisión está relacionada con la cantidad de datos útiles que se transmiten, que puede variar entre 1 y 8 palabras de 32 bits, a lo que hay que sumar cabecera e información de sincronismo. Considerando que la tasa de trasmisión es de 400 bps se obtienen duraciones entre 380 y 940 ms. Si bien el inicio de la primera transmisión de una DCP dada es aleatorio, luego se repite a intervalos regulares (configurable entre 30s y 240s) que llamaremos tasa de repetición de las transmisiones.

2. Análisis del protocolo Aloha

Este protocolo fue uno de los primeros protocolos multiacceso para comunicaciones digitales por radio, fue diseñado por la Universidad de Hawaii y es muy sencillo ya que las estaciones solamente deben transmitir paquetes de información en el momento que deseen sin ningún tipo de sincronización o coordinación preexistente. Tiene la desventaja de que al no existir coordinación para la transmisión es probable que en un instante dado aparezcan dos transmisiones distintas, ocasionando lo que se llama una colisión, en la cual se pierden los datos de ambas transmisiones, lo que producirá una baja en el rendimiento. Forma parte de un conjunto de protocolos denominados “de contención” en los cuales varios usuarios comparten un canal común de modo tal que se pueden producir colisiones .[3]

En los protocolos de contención, una característica importante es determinar cuál es el rendimiento S definido como la fracción del total de las tramas transmitidas que arriban sin colisiones al receptor.

Para el caso de ALOHA, consideremos un conjunto infinito de usuarios que como se estableció anteriormente transmiten en cualquier instante.

Una trama A no sufrirá colisión si en el momento de inicio de la transmisión no existen otras tramas ocupando el canal y además no se envían otras tramas durante un tiempo de trama τ desde el inicio de su envío t_0. En el caso que cualquier otro usuario hubiera generado previamente una trama B de la misma en el intervalo $[(t_0 - \tau) , t_0)]$ el final de B colisionaría con el comienzo de la trama A. De la misma manera si se genera otra trama C en el intervalo $[t_0 , (t_0 - \tau)]$ colisionaría también con parte de la trama A. De aquí se concluye que el intervalo de colisión será 2 τ.

Si se definen los siguientes parámetros:

l_t : Longitud del mensaje ó longitud de trama en [bits]

f_b : Frecuencia de bits ó tasa de bits [bits/seg]

λ_t :Tasa de generación de mensajes ó tramas generados por los usuarios [mens/seg]

$\tau = l_t / f_b$: "tiempo de trama" o slot [seg].

$G' = \lambda_t l_t$: Carga total del canal, este es el trafico ofrecido en los sistemas Aloha

$G = G'/f_b = \frac{\lambda_t l_t}{f_b} = \lambda_t \tau$: Carga total normalizada

Si queremos obtener la probabilidad de que k tramas sean generados en un intervalo 2τ, puede calcularse a partir de que las tramas sean producidas por infinitos usuarios, en instantes al azar y con una frecuencia de λ tramas por unidad de tiempo, lo que lleva a una distribución de probabilidades de tipo Poisson, en base a lo mencionado, la probabilidad Pr de que no se genere ninguna trama en el intervalo 2τ será:

$$P_r(0,2\lambda_t) = G^0 e^{-2\lambda\tau} \qquad (1)$$

Por otra parte, la eficiencia S considerada como la probabilidad de que los mensajes lleguen a destino sin colisionar, sería

$$S = GP_r(0,2\lambda\tau) = G e^{-2\lambda\tau} = G e^{-2G} \qquad (2)$$

El máximo de esta función ocurre para $G = 1/2$ y permite obtener la eficiencia máxima $S_{MAX} = 0,18$

3. Comportamiento de la eficiencia para el acceso al medio del sistema DCS

En primer lugar y teniendo en cuenta que existe un movimiento relativo entre los DCP y el satélite, se producirá un corrimiento de frecuencia por efecto Doppler en la señal recibida por éste. Si la hipótesis es que todos los DCP transmiten en la misma frecuencia, sus transmisiones serán recibidas por el receptor con distintos corrimientos Doppler. Con una tasa de bits $f_b = 400\,Hz$ y un esquema de modulación Manchester con portadora residual, el ancho de banda necesario es aproximadamente de 1200Hz centrados en la portadora.

Cuando se reciben simultáneamente dos señales cuya portadora estén separadas en frecuencia un intervalo mayor que el que abarca el canal, no interfieren o colisionan entre si, ya que el receptor solamente procesará lo que se encuentre dentro de su canal de

recepción. En la fig.1 se muestra esta situación para señales como las que se utilizan en el sistema DCS,el ancho de banda del canal es igual al del espectro de la señal. La señal 2 puede ser procesada por el receptor mientras en simultáneo se reciben las señales 1 y 3 sin que esto afecte el procesamiento.

Por otra parte, si ahora el receptor se sintoniza para recibir la señal 3, la señal 4 va a provocar una colisión.

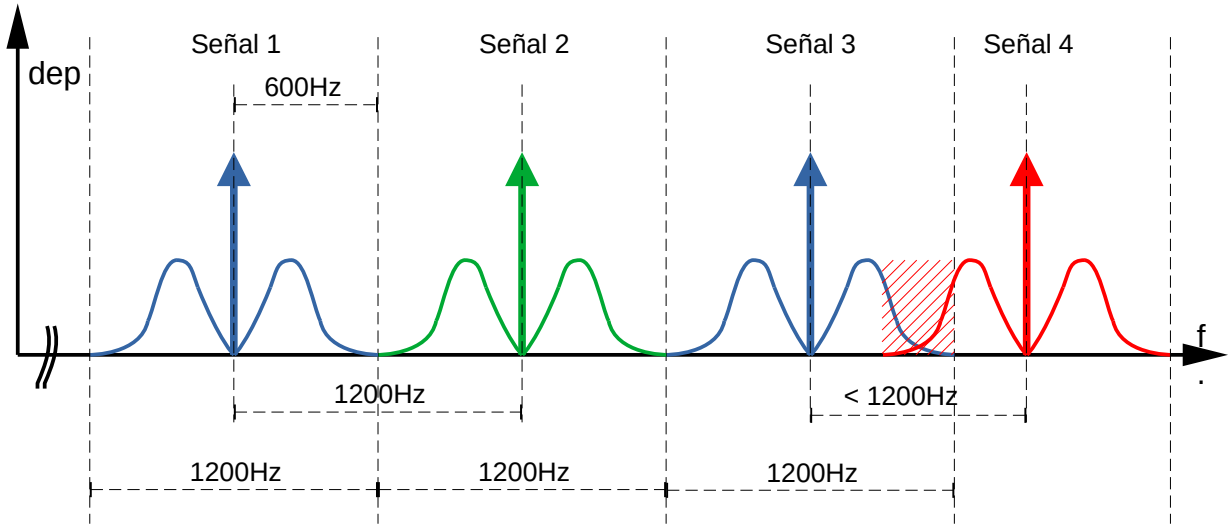


Figura 1. Espectro de Señales que puede recibir el receptor

En estas condiciones, solamente se deben considerar como señales posibles de colisionar, es decir que pueden superponerse temporalmente, a los que tengan un corrimiento Doppler que sea menor que 1200Hz en cada sentido. Esto lleva a considerar que posiblemente exista una estrategia para distribuir las plataformas que maximice la capacidad total del sistema. En este trabajo nos restringimos a obtener las relaciones entre cantidad de plataformas, longitud de mensajes y tasa de repetición de los mismos, considerando sólo las transmisiones dentro del ancho de banda mencionado, para los parámetros del Sistema DCS

En primer lugar se considera que el tráfico ofrecido está producido por n estaciones, cada una de las cuales transmite un mensaje de longitud l_t a razón de λ_t mensajes por segundo.

La trama del sistema DCS, incluye un tiempo de portadora sin modular de 160ms, que considerando que la tasa de bit f_b es de 400 bps, corresponde a una longitud l_p de 64 bits, una cabecera que ocupa $l_h =$ 56 bits y la carga útil de datos que puede ser de $32N$ bits con $N=1,2,3...8$ [2][4].

La longitud total $l_t = l_p + l_h + 32N = 120 + 32N$ con lo cual $l_{tmin} = 152$ para $N=1$ y $l_{tMAX} = 376$ para $N=8$

Entonces, la carga total sería $G = G'/f_b = \dfrac{n\lambda_t l_t}{f_b}$

y por lo tanto: $$n = \frac{G f_b}{\lambda_t l_t} \qquad (3)$$

Puede observarse que si se mantiene el producto $\lambda_t l_t$ constante, la cantidad de usuarios simultáneos también se mantendrá constante, permitiendo mantener máxima eficiencia si se

permiten transmitir mensajes mas largos, pero a la vez se disminuye la frecuencia de repetición

5. Análisis de distintos escenarios de operación

Se procede a analizar los valores pertinentes al sistema DCS, en función de los parámetros de largo de mensaje y tasa de repetición establecidos para el mismo

Caso a) Tasa de repetición mas rápida.

Se analiza como varía n con l_t para $f_b = 400\,bps$ $G = 1/2$ $\lambda_t = \frac{1}{30\,seg}$

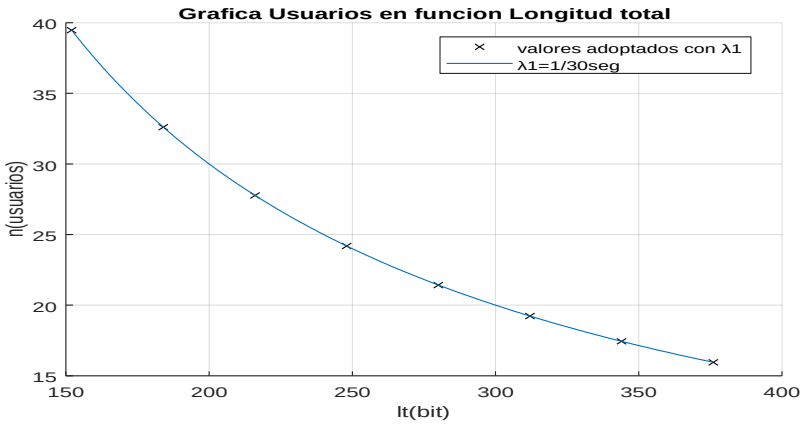


Fig. 2. Cantidad de usuarios en función de la longitud total de mensaje

Caso b) Distintas tasas de repetición y longitud de mensajes.

Se analiza como varía n con l_t y con λ_t para $f_b = 400\,bps$, se obtiene una familia de curvas $n = f(l_t)$ con parámetro λ_t que se muestra en la Fig. 3. Puede apreciarse claramente que para una cantidad de usuarios constante, se puede intercambiar longitud de mensaje con tasa de repetición.

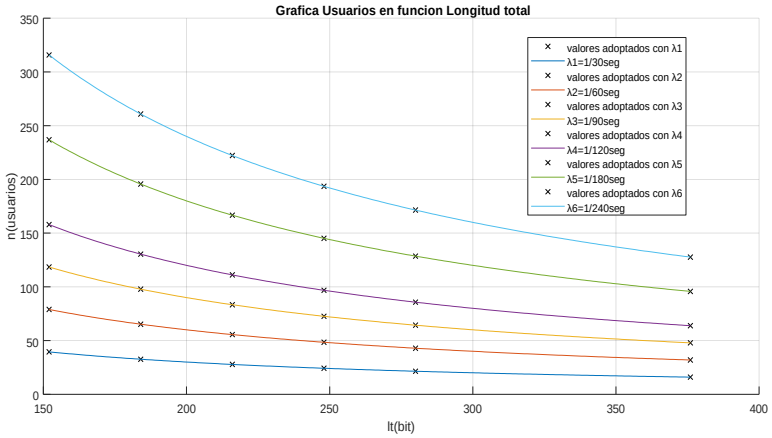


Fig. 3. Cantidad de usuarios n en función de la longitud total de mensaje l_t , para distintas tasas de repetición λ_t .

CONCLUSIONES

En este trabajo se propuso analizar el comportamiento del protocolo de acceso al medio utilizado por el sistema DCS. Se pone en evidencia la simplicidad del protocolo al momento de implementarlo, que trae como consecuencia bajo costo por el tipo de datos que se envían, donde unas pocas mediciones son suficientes.

Por otra parte se observa en cada uno de los casos estudiados lo siguiente:

Caso a) La cantidad de usuarios disminuye a medida que aumenta el tamaño de la longitud de la trama para una misma tasa de repetición de mensajes.

Caso b) El número posible de usuarios se incrementa tanto si se disminuye la longitud de la trama como si se disminuye la tasa de repetición.

De esta manera se evaluó cuál es la cantidad máxima de plataformas que pueden ubicarse en una zona definida por un rango posible de corrimientos Doppler que hacen que sus transmisiones puedan colisionar entre sí respecto del receptor satelital. Para ello se obtuvo una expresión que proporciona la cantidad máxima de transmisores que pueden actuar con una eficiencia máxima del sistema, en función de la longitud y tasa de repetición de los mensajes. A partir de esta ecuación se analizaron diferentes escenarios en los cuales se varían estos parámetros y se pudo observar que se pueden ubicar más estaciones si los mensajes son cortos y la tasa de repetición es más lenta.

Bibliografía

[1] Carlotto J.A. “Informe sobre funcionamiento del DCS Rx con los sistemas SBCDA y ARGOS sobre Brasil y Argentina”. CONAE Document: SD-475-6329-CD. 2012

[2] Carlotto J. A, Juarez J.M., Sager G.E. “Introducción al sistema satelital de recolección de datos ambientales” - 2013

[3] Stallings, W. Data and computer Communications. 2nd.ed Macmillan, 1988

[4] Lorente,H, Sager G. “Aquarius/SAC-D, Data Collection System-Instrument Interface Control Document “- CONAE Document: SD-335-0077-Ver.6 2009

DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SIMULADOR DE SEÑAL L1 DEL SISTEMA GPS EN MATLAB

Sanz, Lucas - López García, Ignacio - Lorenzen, Lautaro - López, Ernesto M. - García, Javier G.

UIDET Sistemas Electrónicos de Navegación y Telecomunicaciones (SENyT)
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina
Email: sanz.lucas@alu.ing.unlp.edu.ar

***Palabras clave**: gnss, gps, matlab, generador, señal*

1. Introducción

Los primeros sistemas de navegación, como Omega y LORAN, precursores de los sistemas satelitales de navegación global (GNSS por sus siglas en ingles) actuales, datan de 1960, y han evolucionado notablemente desde entonces. Su uso es muy difundido en una vasta gama de aplicaciones y las tecnologías asociadas están en constante desarrollo. Existen actualmente 4 sistemas de posicionamiento global, denominados GLONASS, Galileo, BeiDou y GPS (administrados por Rusia, la Unión Europea, China y el Departamento de Defensa de los EEUU respectivamente). El presente trabajo se desarrolla en torno a este último.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) consta de 31 satélites, los cuales transmiten información temporal y orbital a partir de la cual el receptor calcula su posición mediante trilateración, pudiendo lograr precisiones del orden de los metros, incluso centímetros en determinadas implementaciones. Para ello se requiere la información de al menos 4 satélites, a partir de la cual se calcula la distancia a la que se encuentra cada uno de ellos en base al tiempo de viaje de la señal. El sistema GPS implementa distintas señales usando frecuencias de la banda L. En su versión inicial, utilizaba las frecuencias $f_{L1} = 1575,42$ MHz y $f_{L2} = 1227,60$ MHz. La frecuencia f_{L1} es empleada como portadora para el denominado código C/A, utilizado para expandir el espectro. Por otra parte, el código P, también llamado de precisión, es transmitido en ambas frecuencias f_{L1} y f_{L2}.

La comprensión de las técnicas involucradas es imprescindible para la investigación y el desarrollo de proyectos afines. Como se verá oportunamente, existe un considerable grado de complejidad en la estructura de esta clase de sistemas, y es aquí donde surge la importancia de las simulaciones. Simular nos permite modelar problemas del mundo real en un entorno seguro y de manera eficiente, proveyendo una importante herramienta de análisis sencilla de implementar, comunicar y comprender. De esta forma se facilita el desarrollo de tecnologías sin un gran despliegue de infraestructura, así como también la evaluación del impacto de diversos factores.

En el presente trabajo se introducirán los conceptos estructurales del sistema GPS para luego abordar el desarrollo de un generador de señal GPS implementado en Matlab, donde la señal generada es exportada en un formato acorde para su lectura. Finalmente, se presentarán los resultados obtenidos validados mediante el software de código abierto *GNSS-SDR*.

2. Desarrollo y Discusión

2.1. Estructura de las señales del sistema GPS

Con el objetivo de simular la generación de una señal GPS resulta de interés modelarla. La señal que transmite un satélite *k* es de la forma

$$s^k(t) = \sqrt{2P_C}(C^k(t) \oplus D^k(t)) \cos(2\pi f_{L1} t) + \sqrt{2P_{PL1}}(P^k(t) \oplus D^k(t)) \sin(2\pi f_{L1} t) + \sqrt{2P_{PL2}}(P^k(t) \oplus D^k(t)) \sin(2\pi f_{L2} t) \quad (1)$$

donde P_C , P_{PL1} y P_{PL2} son las potencias asociadas a las señales de códigos C/A y P transmitidos. C^k y P^k son secuencias de código de expansión (en referencia a las técnicas de espectro expandido), D^k es la secuencia de datos de navegación y f_{L1} y f_{L2} son las frecuencias de portadora L1 y L2 mencionadas previamente [1].

La secuencia de código $C^k(t)$ también llamada Código de Adquisición Gruesa (Coarse Acquisition) es una secuencia de expansión Gold de 1023 chips (bits) única para cada satélite de la constelación. Dicha secuencia se genera a una tasa de 1.023 MHz, de manera que una secuencia completa dura 1 ms. La secuencia de datos de navegación $D^k(t)$ se genera a una tasa de 50 bps. La información se transmite constantemente en frames de 1500 bits (duración 30 segundos) divididos en 5 subframes de 300 bits, cada uno compuesto por 10 palabras de 30 bits. En el primer subframe se transmite información sobre el *reloj de satélite* e indicadores de la confiabilidad de los datos. En los subframes 2 y 3 se transmiten las *efemérides* del satélite, es decir, el conjunto de parámetros orbitales que permiten calcular la posición y velocidad del mismo en la órbita. En los subframes 4 y 5 se transmite información adicional que no resulta de interés para este trabajo. Para el desarrollo del simulador nos concentraremos únicamente en la señal modulada con el código C/A a frecuencia f_{L1} con la cual ya es posible transmitir datos de navegación y definir posición y velocidad.

2.2. Diseño del simulador de la señal GPS L1

Para poder simular una señal GPS fidedigna, se debe partir de una posición y un tiempo de receptor conocidos. Es en base a esta información, junto con las efemérides vinculadas a los satélites, que es posible determinar la posición y velocidad de los mismos, y con ello, aquellos que estarían en vista para el receptor. Es también a partir de estos parámetros que se calcula el corrimiento Doppler que experimentaría la señal a raíz del movimiento relativo entre transmisor y receptor, las correcciones por efecto Sagnac (asociado a la rotación terrestre durante el tiempo de viaje de la señal), las correcciones por efectos relativistas, la influencia del *offset* y el *drift* en el reloj del satélite, efectos ionosféricos y/o troposféricos, entre otros. En este punto, conociendo la localización del receptor, es posible calcular los tiempos de viaje de señal para cada satélite.

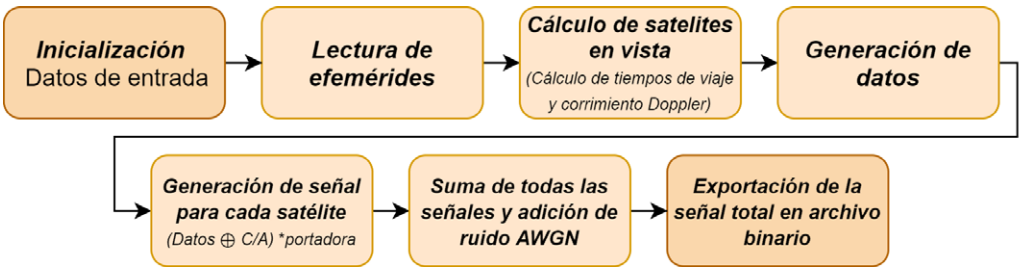


Figura 1: Bloques del simulador

Es evidente que para lograr generar datos relevantes es preciso contar con efemérides válidas, que representen datos realistas. Para ello, se emplean los archivos denominados **RINEX** (*Receiver INdependent EXchange*), un formato de ficheros de texto orientado a almacenar, de manera estandarizada, medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite [6]. De esta forma, se dispone de efemérides “reales” válidas para un determinado momento.

Los parámetros de configuración del simulador, por su parte, serán la ubicación del receptor, el tiempo de interés en el cual se realiza la simulación (necesario para una correcta selección de las efemérides que correspondan), la relación entre la potencia de portadora y la

densidad espectral de potencia de ruido C/N_0 que se quiera considerar, y las frecuencias intermedia y de muestreo. Cabe mencionar que no se ha considerado dinámica para el receptor, es decir, su velocidad en el espacio es nula.

Como los satélites sí están en movimiento y todos los cálculos que se describirán corresponden a variables físicas, estos se realizan cada 1 ms actualizando el estado de manera que se asemeje a una señal real.

Una vez definidos los parámetros de simulación y leídos los datos de efemérides es posible calcular los satélites que están en vista para el receptor. Si un satélite está en vista, se calculan para el mismo las variables anteriormente mencionadas (corrimiento Doppler, tiempo de viaje de la señal, etc.) a partir de las cuales es posible calcular la fase de código y de portadora para cada satélite. Además, se generan los bits de datos que corresponden al tiempo de simulación, en los cuales se codifican las efemérides seleccionadas [8].

Con los parámetros hasta aquí definidos y calculados, se generan y se suman las señales para cada satélite usando la expresión (2), resultando la señal muestreada $S_M[k]$. Notar que por el hecho de tratarse de una simulación, la señal que se genera no es continua, debiendo considerarse las versiones muestreadas (discretas) de las secuencias C y D mencionadas anteriormente. Además, las fases de código ϕ_{CA_i} y ϕ_{D_i} representan el corrimiento en muestras consecuencia del tiempo de viaje calculado para cada satélite en vista y la fase ϕ_{p_i} es la fase de la portadora producto del viaje de la señal. En lugar de la frecuencia L1 se ha utilizado una frecuencia intermedia, ya que es de interés probar receptores completos o algoritmos utilizados en los mismos, donde es usual que la señal esté a frecuencia intermedia luego de haber pasado por la primera etapa de radiofrecuencia.

$$S_M[k] = \sum_{i_{PRN}} (C_i[k - \phi_{CA_i}] \oplus D_i[k - \phi_{D_i}]) \cdot sin(2\pi f_{FI} k + \phi_{p_i}) \tag{2}$$

Finalmente se añade ruido aditivo blanco gaussiano (AWGN sus siglas en inglés) para simular lo “visto por la antena receptora”. La señal resultante es exportada en un archivo binario con un formato adecuado para su lectura.

2.3. Pre procesamiento

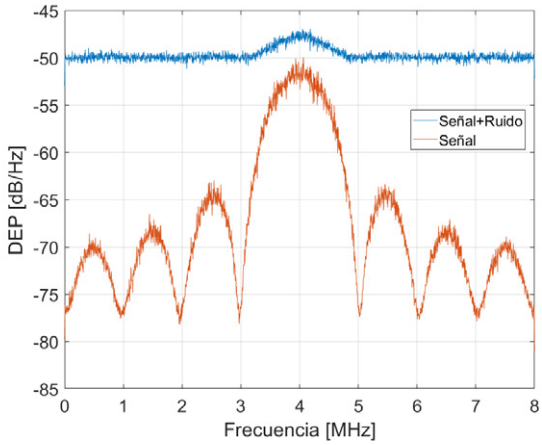
2.3.1. Densidad espectral de potencia

En primer lugar, es de gran importancia verificar que la densidad espectral de potencia (DEP) de la señal generada tenga cierta similitud con la DEP de la señal teórica. En la Figura 2 es posible observar dicha similitud, teniendo en cuenta que la señal generada posee una frecuencia intermedia de 4 MHz.

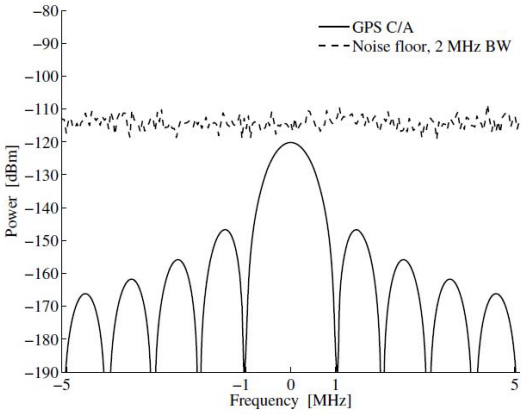
2.3.2. Adquisición

A la hora de comprobar si se encuentran satélites en vista, el receptor realiza una serie de operaciones que, en su conjunto, son conocidas como *adquisición* [5].

La adquisición consiste en encontrar un pico de correlación para un determinado satélite a una determinada frecuencia, a partir de la cual se puede inferir el corrimiento doppler y la fase de código de la señal. La correlación es realizada con una copia local del código C/A correspondiente al del satélite que se desea adquirir. Para hacerlo de manera correcta, es necesario conocer con cierta precisión ($\pm$ 250 Hz) la frecuencia de la señal recibida. Los resultados obtenidos son los que se muestran en la Figura 3.



(a) DEP de la señal generada centrada en f_{FI}



(b) DEP teórica centrada en banda base[1]

Figura 2: Comparación de densidades espectrales de potencia de las señales C/A de la banda L1. Notar que los valores del eje vertical no coinciden entre sí debido a que se utilizan valores arbitrarios de potencia para la simulación. Solo resulta de interés comparar cualitativamente la forma de los espectros

Un ejemplo de la adquisición resultante con la señal generada por el simulador para el satélite identificado con la secuencia PRN 7 y un doppler de 2.25 KHz se observa en la Figura 3, donde es evidente que la adquisición fue hecha de manera satisfactoria, reflejando la visibilidad del satélite en cuestión.

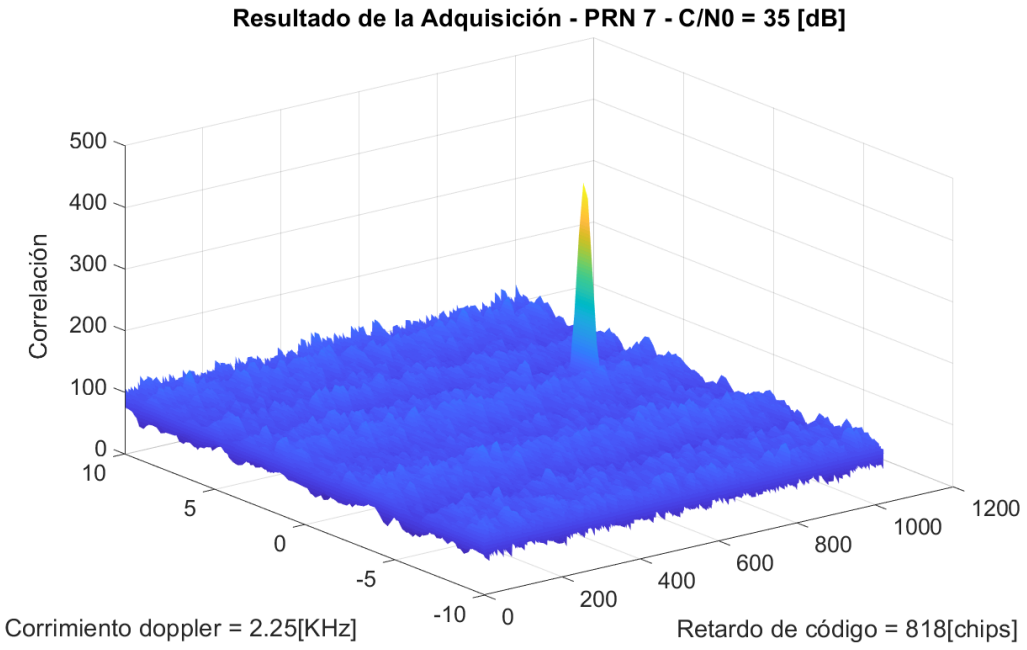


Figura 3: Resultado de la adquisición para el PRN 7

2.4. Obtención de posición

2.4.1. GNSS-SDR

Como se mencionó previamente, para validar las señales se hizo uso del software GNSS-SDR [2], un receptor de señales GNSS definido por software. El mismo es capaz de realizar todas las operaciones necesarias para demodular una señal GPS e interpretar sus mensajes, dando así una solución PVT (de Posición, Velocidad y Tiempo).

La principal ventaja es que ofrece una forma sencilla y tecnológicamente poco demandante de validar las señales generadas, pudiendo prescindir de un receptor GPS físico dedicado que puede resultar costoso e impráctico según la aplicación deseada. Además, con este programa es posible observar y analizar todas las señales intermedias, lo que resulta muy conveniente para la detección y corrección de errores. Para realizar las pruebas, el GNSS-SDR usa como fuente de datos el archivo binario generado por el simulador.

Para la definición de posición se requiere de, como mínimo, 4 satélites, lo que refleja la importancia de la determinación de los satélites en vista, esto es, el proceso de *adquisición*. Para este caso, el GNSS-SDR utilizó la información de 5 satélites, logrando definir la posición que se presenta a continuación.

2.4.2. Resultados obtenidos

Una vez obtenidas las soluciones PVT generadas por el receptor, se convirtieron al sistema coordenado LTP (por sus siglas en inglés *Local Tangent Plane*). LTP es un marco de coordenadas referenciado localmente, y define un plano tangente a partir de la vertical local y al eje de rotación terrestre. El motivo de esta conversión es su difundido uso como medio para la representación de los errores de posición.

Teniendo presente que el origen del marco LTP definido es la posición de simulación deseada, se observaron diferencias cuyas desviaciones resultaron $\sigma_{Norte} = 2{,}6028$ m, y $\sigma_{Este} = 1{,}3247$ m, usando el conjunto de datos que dieron lugar a los gráficos de las Figuras 4 y 5. Es importante notar que distintas simulaciones en distintos puntos geográficos dieron lugar a desviaciones del mismo orden en metros. Se observa a su vez la correspondencia entre los gráficos: la Figura 4 muestra una media cercana a cero para el error en la coordenada Norte y media no nula y positiva para la coordenada Este, lo cual se refleja en el scatter plot de la Figura 5.

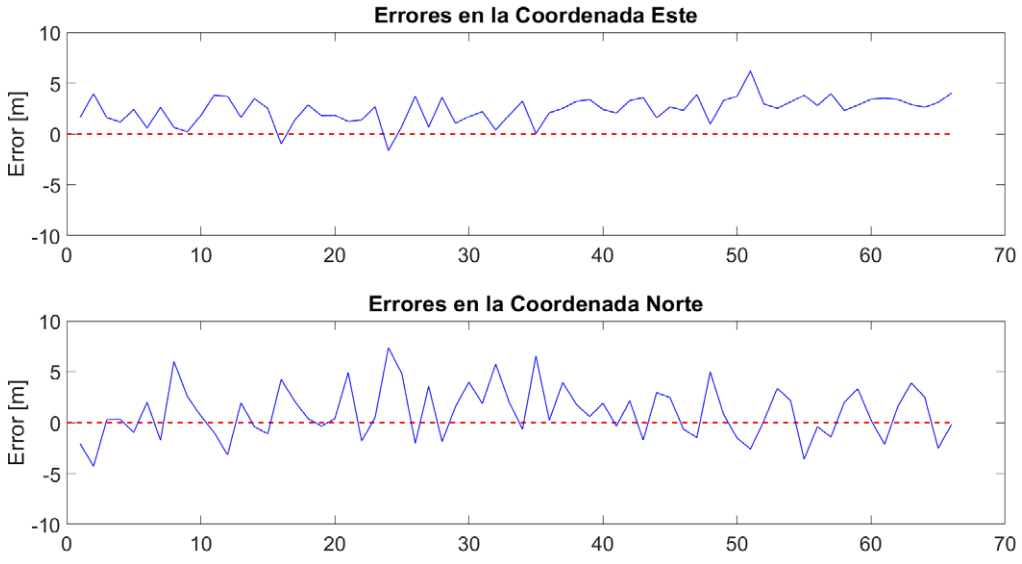
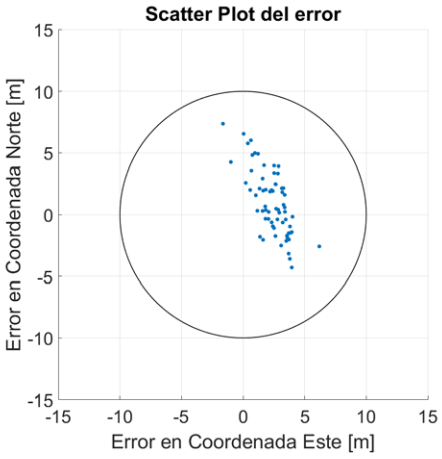


Figura 4



(a)



(b)

Figura 5: Comparación cualitativa del error en el mapa

3. Conclusiones

En este trabajo se diseñó e implementó un simulador de la señal L1 del sistema GPS que fue validado exitosamente utilizando el software GNSS-SDR. Esto lo convierte en una herramienta de gran utilidad para el estudio y validación de sistemas GPS tanto en la modulación como en la demodulación de datos, dado que no resulta laborioso modificar las características de la señal ni diseccionarla de una forma concreta.

En un futuro la generación de señal podría mejorarse, incorporando factores de mayor complejidad como un receptor en movimiento, retardos asociados al paso por la ionósfera y la tropósfera, caracterización realista de las relaciones C/N_0 de cada satélite en vista, y el efecto del multicamino. Además, se podría optimizar la implementación para generar señales de mayor duración en tiempos de ejecución menores con el objetivo de simular transmisión y recepción en tiempo real.

Referencias

1. Borre, K., Akos, D.M., Bertelsen, N., Rinder, P., Jensen, S.H.: A software-defined GPS and Galileo receiver. Birkhäuser, Boston, Massachusetts (2007)
2. Fernandez-Prades, C., Arribas, J., Esteve, L., Closas, P.: GNSS SDR, an open source global navigation satellite systems software-defined receiver (2013), https://gnss-sdr.org/
3. Guo, J., Wang, W., Chao, B.: Model of GPS IF signal and its simulation. Geo-spatial Information Science **12**(2), 100–103 (2009). https://doi.org/10.1007/s11806-009-0225-x
4. Joseph, A.: GNSS Solutions - Measuring GNSS signal strength. Inside GNSS column pp. 20–25 (2010), http://www.insidegnss.com
5. Kaplan, E.D., Hegarty, C.: Understanding GPS: Principles and Applications. Artech House Inc., 685 Canton Street, Norwood, MA 02062 (2006)
6. NASA: https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/broadcast_ephemeris_data.html
7. Teunissen, P.J.G., Montenbruck, O.: Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer, Berlín, Alemania (2017)
8. U.S. Government: Interface control document for GPS, https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200L.pdf

ESTRATEGIA MPPT PARA CONDICIÓN DE SOMBRAS PARCIALES*

Inthamoussou, Fernando A. y Valenciaga, Fernando

Grupo de Control Aplicado (GCA), Instituto LEICI, Facultad de Ingeniería, UNLP - CONICET
{intha,fval}@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: sistemas fotovoltaicos, MPPT, sombras parciales

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se han propuesto varias estrategias para la obtención del Punto de Operación de Máxima Potencia (POMP) bajo condiciones de sombras parciales [1–4]. Si bien algunas de ellas tratan de adaptar las metodologías empleadas históricamente para la búsqueda y seguimiento del POMP, también se han desarrollado diferentes enfoques basados en el relevamiento de la característica de potencia del arreglo mediante técnicas de barrido. Dentro de este último grupo se encuentran las que realizan un barrido de la característica de potencia a través de la variación del ciclo de trabajo del convertidor [6], las que usan los elementos reactivos en conjunto con las llaves del convertidor [2] y las que agregan un circuito extra entre el arreglo fotovoltaico y el convertidor de potencia [4]. Las estrategias que utilizan el ciclo de trabajo del convertidor o sus elementos reactivos, además de interrumpir la energía entregada a la carga, se ubican entre las más lentas, mientras que las que incorporan un circuito específico dedicado a tal fin logran una mayor velocidad. En cualquier caso, la gran mayoría de estas propuestas usan la información obtenida para determinar la tensión de referencia que luego emplea algún método de Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT).

En este trabajo se propone una estrategia MPPT basada en el barrido periódico de la característica del arreglo fotovoltaico. De este barrido se obtiene la tensión a la cual se encuentra el POMP para las condiciones imperantes de radiación y temperatura. Luego, esta tensión es usada como referencia por un controlador por Modos Deslizantes (MD) de primer orden [5], encargado de regular la tensión en bornes del arreglo. Dado que el barrido se realiza en un período de tiempo muy corto, la energía suministrada a la carga no se ve interrumpida. Esto determina que el mismo pueda realizarse de forma periódica a intervalos de tiempo muy cortos evitando así la necesidad de combinar este método con alguna otra estrategia de seguimiento del POMP. Alternativas al barrido periódico podrían construirse en base al monitoreo de alguna variable (i.e. la potencia generada) que, en base a algún umbral de cambio, dispare su realización. De esta forma los barridos periódicos pueden combinarse con barridos demandados por cambios repentinos en las condiciones climáticas. Por otro lado, la utilización de un controlador diseñado por MD permite que los cambios de funcionamiento entre puntos de operación se realicen a máxima velocidad, limitados solamente por los valores de los elementos reactivos del convertidor. Esta es una diferencia importante con otros métodos en los cuales la velocidad de convergencia se encuentra limitada por la dinámica del PWM y la estrategia MPPT asociada.

2. DESCRIPCIÓN DEL EFECTO DE LAS SOMBRAS PARCIALES

En la Fig. 1 se muestra esquemáticamente la interconexión en serie de las celdas que componen un módulo fotovoltaico. En el caso a) todas las celdas están igualmente iluminadas, en el caso

*UNA VERSIÓN DE ESTE TRABAJO FUE PRESENTANDO EN AADECA'20.

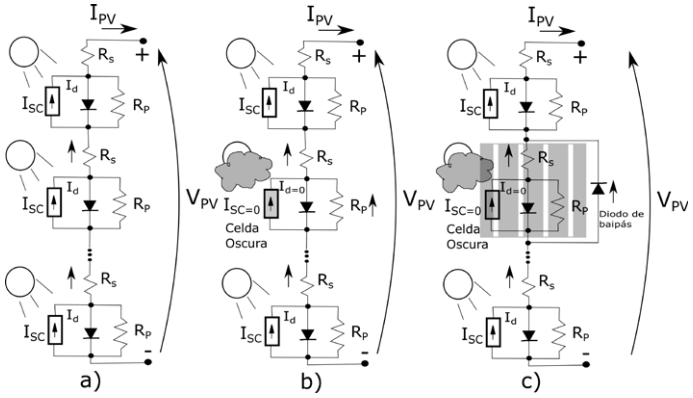


Figura 1: Módulo fotovoltaico: a) uniformemente iluminado, b) una celda oscura, c) con diodo de bypass.

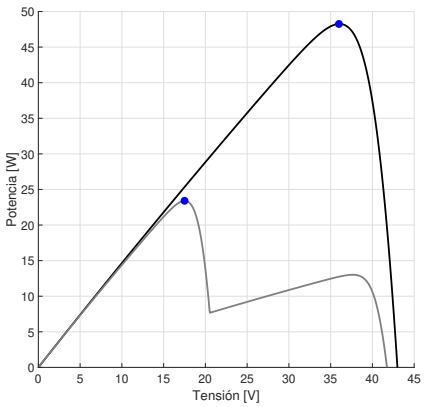


Figura 2: Característica V-P. Negro: uniformemente iluminado, Gris: sombra parcial.

b) una de las celdas está sombreada y en el c) se agrega un diodo de bypass sobre la celda sombreada. Cada celda se representa por el modelo de un diodo, incluyendo su resistencia serie y paralelo.

Ante condiciones de radiación uniforme, caso a), todas las celdas generan idealmente la misma corriente de cortocircuito, siendo la tensión total en bornes la suma de las tensiones de cada una de ellas. Cuando esto ocurre la característica tensión-potencia (V-P) de un módulo presenta la forma que se muestra en negro en la Fig. 2. Supóngase ahora que por algún motivo una de las celdas se encuentra completamente oscurecida, como se muestra en la Fig. 1b). Al no recibir radiación esta celda no genera corriente eléctrica, pero debido a que el resto de las celdas sí están generando, la corriente circula a través de su resistencia serie y paralelo, polarizando en inversa el diodo del modelo. De esta forma, la celda oscurecida no sólo no aporta en la generación, sino que ahora se comporta como una carga. Esto tiene asociados dos inconvenientes: por un lado, la potencia generada por el módulo disminuye drásticamente debido a la caída de tensión que se produce en las resistencias serie y paralelo; por el otro, al comportarse como una carga, la celda no iluminada disipará energía aumentando su temperatura, produciendo así un punto caliente puede llevar a su destrucción. Con el objetivo de evitar estos puntos calientes y aumentar la potencia generada, una práctica común es incorporar un diodo de bypass a cada celda, o grupo de celdas, Fig. 1c). De esta forma, cuando una celda se oscurece, o está menos iluminada que el resto, el diodo añadido se polariza en directa y la corriente circula por él en lugar de hacerlo por las resistencias serie y paralelo. De esta forma, no se disipa energía en las mismas limitándose así la caída de tensión en bornes de la celda oscurecida. Esta tensión corresponde ahora a la del diodo de bypass polarizado en directa. Como consecuencia la característica tensión-potencia se modifica presentando máximos locales de potencia como se muestra en gris en la Fig. 2. Esto trae como inconveniente el posible mal funcionamiento de los métodos MPPT tradicionales ya que pueden quedar atrapados en máximos locales.

3. SISTEMA Y ESTRATEGIA DE BARRIDO

La Fig. 3 muestra el esquema del sistema compuesto por un arreglo fotovoltaico de dos módulos de 30 W conectados en serie, un convertidor DC-DC, un bus de continua y el circuito anexado entre el arreglo y el convertidor para realizar el barrido de la característica V-P.

3.1. Estrategia de barrido

Para obtener la característica V-P del arreglo se realiza un barrido de tensión (circuito resaltado en la Fig. 3) en sus bornes al mismo tiempo que se miden su corriente y su tensión.

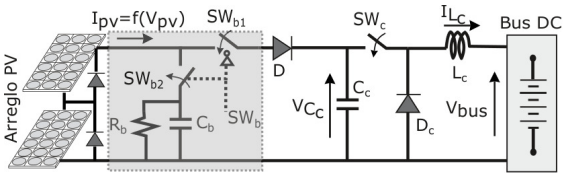


Figura 3: Sistema.

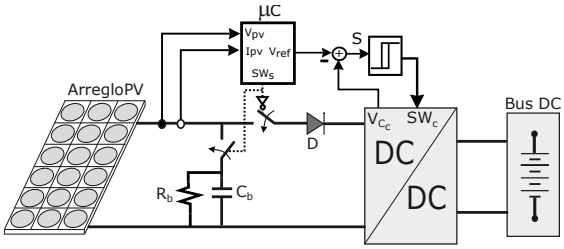


Figura 4: Sistema a lazo cerrado.

Las llaves del circuito de barrido operan de manera complementaria. La secuencia de operación del circuito de barrido presenta los siguientes pasos:

1. Se abre la llave SW_{b1} y se cierra SW_{b2}.
2. Como el capacitor C_b se encuentra descargado fija como punto de operación el correspondiente a una tensión cero en bornes con una corriente determinada por la corriente de cortocircuito del arreglo. A partir de este punto el capacitor comienza a cargarse hasta el punto de tensión de circuito abierto y corriente cero.

   Observación 1 *No es necesario que el capacitor esté completamente descargado, sino que su tensión se corresponda con un valor bajo, de forma tal que permita recorrer la parte substancial de la característica V-P.*
3. Mientras se realiza la carga del capacitor (barrido de la característica V-P) se toman muestras de la tensión y corriente.
4. Cuando la corriente del arreglo llega a cero (barrido completado) se cierra SW_{b1} y se abre SW_{b2}. A partir de aquí el capacitor (C_b) se empieza a descargar a través de R_b para estar listo para el próximo barrido.
5. De las muestras de tensión y corriente se obtiene el valor de potencia máxima como así también el valor de tensión al que se da esta potencia.
6. Se actualiza la referencia del controlador con la tensión obtenida.

3.2. Dimensionamiento de los elementos del circuito de barrido

Para que esta estrategia funcione adecuadamente es necesario diseñar correctamente el capacitor (C_b) y la resistencia (R_b) utilizados en el circuito de barrido. En este sentido se fija como tiempo total de barrido el correspondiente a un período de conmutación del convertidor, del orden de $25\mu s$ con la idea de que el barrido no dure más que este período y así la energía suministrada a la carga no se vea interrumpida. Los pasos de diseño siguen la siguiente secuencia:

1. La evolución de la tensión en el capacitor durante el barrido se puede escribir como:

$$v_{C_b} = \frac{1}{C_b}\int_0^t I_{CC}dt,$$

   donde se consideró que el capacitor se carga a corriente constante (corriente de cortocircuito del arreglo). Por otro lado la variación de tensión en C_b puede expresarse como:

$$\Delta v_{C_b} = I_{CC}\Delta t/C_b,$$

   fijando $\Delta t = 25\mu s$ se puede despejar C_b:

$$C_b = I_{CC}\Delta t/\Delta v_{C_b}.$$

   Luego, considerando que la variación de tensión en el capacitor en este tiempo será de 43 V (dos módulos en serie) y que la corriente de cortocircuito de los módulos es de 1.86 A, el valor de C_b resulta:

$$C_b = 1{,}86A \times 25\mu s/43V = 1{,}08\mu F.$$

   seleccionando el valor comercial de $1\mu F$.
2. Para el cálculo de R_b es necesario tener en cuenta cada cuanto tiempo se realizará

el barrido, de forma que el capacitor se encuentre descargado cada vez que comience uno nuevo. Asumiendo que el barrido se realiza cada 20 ms y considerando un tiempo de descarga (t_d) de dos constantes de tiempo ($\tau = R_b \times C_b$), el valor de R_b se determina como:

$$t_d = 2 \times R_b \times C_b => R_b = t_d/2 \times C_b$$

resultando un valor de 10 $k\Omega$. Esta resistencia es lo suficientemente grande como para no afectar la carga del capacitor.

Como frecuencia de muestreo se eligió emplear 1 MSPS lo cual determina un total de 25 muestras dentro del período que determina la excursión de la corriente de cortocircuito. Como esta corriente cae a medida que se llega al máximo por la resistencia serie del arreglo, el número de muestras que se obtiene es mayor, resultando adecuado para la precisión buscada.

Observación 2 *Las técnicas de barrido que usualmente se presentan utilizan 3 o más llaves para realizar esta tarea. En el caso del circuito propuesto sólo se utilizan dos lo cual redunda tanto en un menor costo como en una mayor robustez del sistema. Respecto al tipo de llaves a utilizar, pueden considerarse tanto relés de estado sólido como transistores Mosfet.*

4. DISEÑO DEL CONTROLADOR

La tensión a la cual se produce el POMP es usada como referencia por un controlador implementado por MD de primer orden [5] a través de un circuito de histéresis. Un esquema de la topología propuesta se presenta en la Fig. 4.

4.1. Dinámica del convertidor

En la Fig. 3 puede observarse que la dinámica del convertidor cambia con la posición de la llave SW_c. Cuando está abierta hay dos sub circuitos aislados, teniendo cada uno de ellos la dinámica correspondiente a un integrador. Cuando la llave está cerrada se obtiene un circuito LC con un par de polos sobre el eje imaginario (despreciando las pérdidas). El comportamiento dinámico del convertidor puede representarse mediante un modelo único:

$$\begin{cases} \dot{V_{C_c}} = \dfrac{I_{pv}(V_{C_c})}{C_c} - \dfrac{I_{L_c}}{C_c} SW_c \\ \dot{I_{L_c}} = -\dfrac{V_{bus}}{L_c} + \dfrac{V_{C_c}}{L_c} SW_c \end{cases} \quad (1)$$

donde SW_c representa la posición de la llave electrónica (1 cuando la llave está cerrada y 0 en caso contrario).

4.2. Regulación de tensión

El objetivo de control es regular la tensión en bornes del arreglo (sobre C_c). Se considera entonces la posibilidad de establecer un modo deslizante sobre la recta $S(x) = V_{C_c} - V_{ref} = 0$, siendo x el vector de estados. Se propone entonces $SW_c = 0{,}5 + 0{,}5 sign(V_{C_c} - V_{ref})$ como acción de control.

Esta superficie de deslizamiento cumple con la condición de transversalidad necesaria para la existencia del modo deslizante: $\frac{-I_{L_c}}{C_c} < 0$. Se asegura así que las trayectorias del sistema siempre evolucionen hacia la superficie, cualquiera haya sido su posición inicial. La condición necesaria y suficiente de convergencia se obtiene empleando el método del control equivalente. Su expresión puede obtenerse a partir de la condición de invariancia dada por: $S = 0$ y $\dot{S} = 0$. Realizando estos estos cálculos se obtiene $SW_{c_{eq}} = I_{pv}(V_{C_c})/I_{L_c}$.

La condición necesaria y suficiente para la existencia del MD es que el control equivalente se mantenga entre los límites de control $SW_c = 0$ (llave abierta) y $SW_c = 1$ (llave cerrada). Es decir, el dominio del modo deslizante sobre la recta $S(x) = V_{C_c} - V_{ref} = 0$ es $0 < I_{pv}(V_{ref}) < I_{L_c}$. En

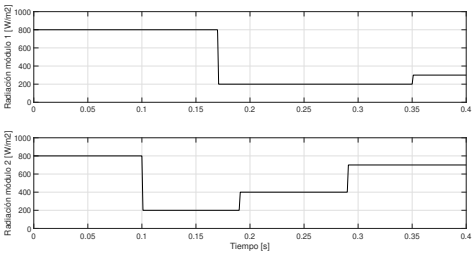


Figura 5: Perfil de radiación en los módulos.

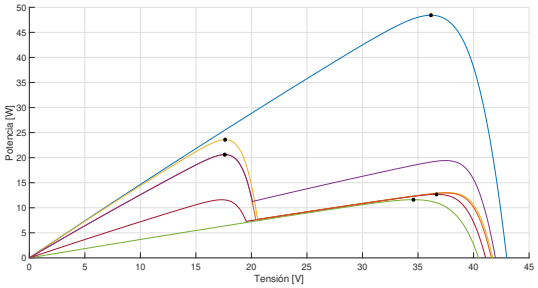


Figura 6: Características V-P para Fig. 5.

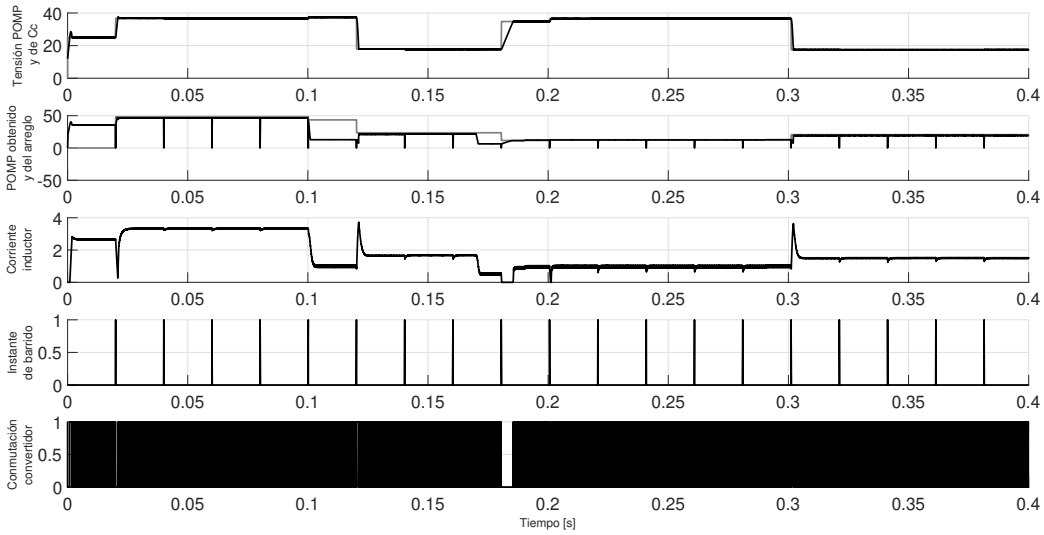


Figura 7: Resultados de simulación.

otras palabras, existirá modo deslizante sobre la recta $V_{C_c} = V_{ref}$ sólo cuando la corriente del inductor excede a la del módulo. La dinámica resultante del modo deslizante se reduce a una de primer orden dada por $\dot{I_{L_c}} = -V_{bus}/L_c + V_{C_c} I_{pv}(V_{C_c})/(L_c I_{L_c})$. De esta ecuación se puede ver que existe un único punto de equilibrio sobre la superficie y que el mismo es estable globalmente. Las coordenadas de este punto de equilibrio son: $V_{C_c} = V_{ref}$ e $I_{L_c} = V_{ref} I_{pv}(V_{ref})/V_{bus}$. Si se reemplaza esta corriente en la condición necesaria y suficiente obtenida previamente, surge que el valor de referencia debe ser $V_{bus} < V_{ref} < V_{OC}$, donde V_{OC} es la tensión de circuito abierto del arreglo. La condición de existencia obtenida es sólo local, sin embargo se puede demostrar, teniendo en cuenta las trayectorias del sistema, que el dominio de MD es globalmente atractivo.

5. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

El sistema fue implementado en el entorno Matlab®/Simulink® utilizando SimPowerSystems® con parámetros reales y lo más cercano a una implementación real posible. Se simuló que cada módulo del arreglo pueda recibir una radiación y temperatura de trabajo distinta. La Fig. 5 muestra los perfiles de radiación utilizados y la Fig. 6 las características V-P para cada caso.

La Fig. 7 muestra los resultados de simulación al imponerle al sistema los perfiles de radiación antedichos. De arriba hacia abajo se presentan: tensión de referencia del controlador obtenida del barrido (en gris) y tensión en el capacitor C_c (en negro); potencia máxima obtenida del barrido (en gris) y potencia en bornes del arreglo (negro); corriente por el inductor; instantes de barrido y la señal de conmutación del convertidor.

Como se puede ver en la Fig. 7 el sistema arranca ($0 < t < 20ms$) con una referencia de tensión ($25V$) fijada arbitrariamente. Esto se corresponde con un valor de POMP igual a cero (línea gris en el segundo cuadro) dado que aún no se ha realizado ningún barrido. Si bien podría haberse optado por generar un barrido inicial y luego fijar la referencia inicial, se eligió esta secuencia de arranque para mostrar como el sistema puede iniciar su funcionamiento desde condiciones iniciales nulas en forma autónoma. Una vez que el sistema encontró su primera referencia óptima, opera realizando barridos periódicos (cada 20 ms) de manera de poder seguir las posibles variaciones del POMP.

Desde $t = 0{,}02s$ hasta $t = 0{,}1s$ se producen cinco barridos obteniéndose siempre la misma tensión POMP de referencia dado que la radiación se mantuvo constante en este lapso de tiempo. Los picos que se observan en la potencia en bornes del arreglo (segundo cuadro del gráfico) se corresponden con los instantes de barrido. De todas formas, la corriente suministrada a la carga no se ve interrumpida como lo muestra la gráfica que presenta la corriente en el inductor.

En $t = 0{,}1s$ (situación que se repite en $t = 0{,}17s$), el barrido y un cambio abrupto en la radiación de uno de los módulos ocurren simultáneamente. Como consecuencia, la tensión de referencia obtenida no corresponde al POMP determinado por la radiación final. Esto genera un error que se mantiene 20 ms como máximo, que es el intervalo previo al siguiente barrido ($t = 0{,}12s$). Esta circunstancia particular no se considera relevante ya que los perfiles de radiación no varían tan abruptamente en situaciones reales. De todas formas este tiempo puede ser reducido de tres formas. La primera, y más simple, consiste en disminuir el tiempo entre barridos. La segunda consiste en acoplar esta técnica con algún algoritmo de seguimiento del POMP estándar (i.e. P&O). La tercer opción consiste en realizar los barridos como se ha comentado agregando otra condición que dispare un barrido antes de lo estipulado. Esta condición podría por ejemplo estar dada por una caída o aumento rápido en la potencia generada. Luego, fijado un umbral en la variable seleccionada podrían dispararse barridos condicionados que incluso permitirían que el tiempo entre barridos periódicos bajo circunstancias normales sea extendido.

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran la aplicabilidad de la propuesta y su buen desempeño. La gran velocidad de barrido en combinación con el control por MD permiten prescindir de las técnicas estándar de seguimiento aunque la propuesta se puede adaptar al empleo de este tipo de estrategias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por UNLP (I253 e I258) y CONICET (PIP 0837).

REFERENCIAS

[1] S. Hosseini et. al., *A High-Performance Shade-Tolerant MPPT Based on Current-Mode Control*. IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 34, no. 10, pp. 10327-10340, 2019.

[2] S. Selvakumar et. al., *High-Speed Maximum Power Point Tracking Module for PV Systems*. IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 66, no. 2, pp. 1119-1129, 2019.

[3] J. Ahmed. et. al., *An Accurate Method for MPPT to Detect the Partial Shading Occurrence in a PV System*.IEEE Trans. on Industrial Informatics, vol. 13, no. 5, pp. 2151-2161, 2017.

[4] R. Ahmad et. al. *An MPPT technique for unshaded/shaded photovoltaic array based on transient evolution of series capacitor*. Solar Energy, vol. 157, pp 377-389, 2017.

[5] Y. Shtessel et. al. *Sliding Mode Control and Observation*. Springer, 2014.

[6] A. Kouchaki et. al. *A new maximum power point tracking strategy for PV arrays under uniform and non-uniform insolation conditions*. Solar Energy, vol. 91, 2013, pp. 221-232.

NUEVAS DIRECTRICES ICNIRP 2020. COINCIDENCIAS Y MODIFICACIONES CON RESPECTO A ICNIRP 1998

Vernieri, Julieta Z.
Departamento de Electrotecnia
FI-UNLP
La Plata, Argentina
julietavernieri@gmail.com

Gross, Patricio M.
Departamento de Electrotecnia
FI-UNLP
La Plata, Argentina
patriciomgross@gmail.com

Ciafardini, Juan P.
Departamento de Electrotecnia
FI-UNLP
La Plata, Argentina
jpciafar@gmail.com

Palabras Claves — ICNIRP, RNI, EMF exposición.

INTRODUCCION

La Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) es una comisión científica independiente creada en el año 1992 para fomentar la protección contra la radiación no ionizante (RNI) en beneficio de las personas y del medio ambiente. En el año 1998 publicó las *Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz)* [2], en adelante ICNIRP 1998. Los valores límites fueron fijados en relación a los efectos de corto término, los únicos confirmados científicamente.

La constante revisión de los numerosos estudios epidemiológicos y de laboratorio que la comunidad científica publica en lo referente a los efectos en la salud de las personas de las radiaciones electromagnéticas, permite a la ICNIRP mantener sus pautas actualizadas. En el año 2010 la ICNIRP publicó nuevas pautas correspondientes a las frecuencias extremadamente bajas, en la banda de 1 Hz a 100 kHz [3], en adelante ICNIRP 2010, reemplazando a la del año 1998 sólo en dicha banda de frecuencias. En mayo de 2020, fueron publicadas las pautas *Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields, 100 kHz to 300 GHz* [1], en adelante ICNIRP 2020, las cuales comprenden al resto del espectro abarcado por las pautas de 1998, y son las que nos interesa analizar en el presente trabajo.

En consecuencia, actualmente las pautas de 1998 quedaron completamente reemplazadas por las dos pautas mencionadas, la publicada en 2010 para frecuencias de 1 Hz a 100 kHz y la publicada en 2020 para el resto de las frecuencias hasta 300 GHz. Las nuevas pautas ICNIRP 2020 limitan la exposición en frecuencias utilizadas por varias aplicaciones como tecnologías Wifi, Bluetooth, teléfonos móviles y estaciones base. Resulta conveniente destacar los cambios introducidos en relación con las pautas hasta entonces vigentes, ICNIRP 1998, en la banda de radiofrecuencias.

I. PAUTAS ICNIRP 2020

Las nuevas pautas ofrecen protección para todas las personas contra los efectos adversos para la salud, científicamente confirmados, por exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia, continua y discontinua, a corto y a largo plazo. Esta especificación significa un avance respecto de las pautas de 1998 las cuales expresamente indican “estas recomendaciones están basadas en efectos inmediatos a la salud proveniente de exposiciones de corto plazo” [2].

Los cambios observados en las nuevas pautas no son importantes en cuanto a las restricciones mismas, es decir, las principales restricciones de la ICNIRP 1998 se han mantenido prácticamente en las nuevas directrices. Los cambios radican más bien en una mejora en la precisión en la determinación de los niveles de referencia, lo que lleva a una mayor protección de la salud de las personas [4]. A diferencia de la normativa anterior, la ICNIRP 2020 discrimina diferentes tipos de exposición: exposición de cuerpo entero, exposiciones

localizadas ya sea en tronco, cabeza o extremidades, exposiciones en campo lejano; exposiciones en campo cercano; exposiciones a haces altamente focalizados y exposiciones de corta duración para campos discontinuos. Para ello incorpora nuevas cantidades físicas de exposición, así como introduce modificaciones menores tales como las condiciones de medición, el tiempo de exposición a promediar, el tamaño de la superficie donde evaluar las densidades, la forma del volumen de masa de tejido donde evaluar la restricción, cambios en las frecuencias límites que definen las bandas de aplicación, así como también cambios en algunas reglas de aplicación.

II. MODIFICACIONES EN LAS CATEGORÍAS

El procedimiento que aplica la ICNIRP para fijar los valores límites parte de detectar un efecto biológico asociado a una frecuencia, una cantidad física y un mecanismo de interacción. Para dicha cantidad física se establecen las llamadas “cantidades dosimétricas” que fijan el umbral a partir del cual aparecen los efectos adversos para la salud. A partir de estos umbrales y a través de factores de reducción se establecen “restricciones básicas”. Las restricciones básicas limitan cantidades físicas dentro de un cuerpo expuesto, que por lo general no se pueden medir fácilmente. Para evitar este inconveniente la ICNIRP, a través de modelos computacionales y mediciones, deriva, a partir de las restricciones básicas que deben cumplirse al interior del cuerpo, cantidades físicas de exposición ambiental que deben verificarse en el ambiente de manera de asegurar que las restricciones básicas no se están superando al interior de cuerpo. Estas cantidades físicas de exposición ambiental resultan de fácil medición en el ambiente, y evitan tener que realizar mediciones al interior del cuerpo. A estas cantidades de exposición se las denomina "niveles de referencia".

A continuación, se realiza un análisis cualitativo de los cambios introducidos en el tipo de restricciones básicas que ambas definen, y sus condiciones de medición, para luego pasar a los cambios tanto en el tipo como en las condiciones de medición de los niveles de referencia. Por razones de espacio no serán analizados los valores especificados por ambas normativas para las restricciones básicas, para lo que es posible consultar las normas.

A. Restricciones Básicas

En el rango de frecuencias de 100 kHz a 10 MHz la restricción básica dejó de ser la densidad de corriente J para ser la intensidad de campo eléctrico inducido Eind, tal como ya había sido introducido en la ICNIRP 2010.

Se extiende hasta los 300 GHz el uso de la cantidad dosimétrica SAR para cuerpo entero, aplicada sólo hasta 10 GHz en las pautas del año 1998. Esta extensión en el rango de aplicación prevé prevenir contra el aumento excesivo de temperatura corporal que podrían provocar futuras tecnologías en esta banda del espectro [4]. Con respecto a las condiciones de la medición las restricciones de SAR de cuerpo entero, para la ICNIRP 1998, se promedian en un tiempo de 6 minutos, mientras que para la ICNIRP 2020 el promedio debe realizarse en 30 minutos, ya que es el tiempo medio necesario para que la temperatura corporal alcance el estado estacionario.

Con respecto al SAR localizado si bien ambas pautas especifican para su aplicación una masa de tejido de 10 gramos, en la primera de ellas se debe cumplir la condición de un volumen continuo del mismo tejido mientras que en las últimas pautas el volumen de 10 gr debe ser cúbico, forma ésta que responde a una mejor aproximación al fenómeno de difusión del calor.

En cuanto al uso de la densidad de potencia como restricción básica se observa un cambio en la frecuencia límite de aplicación. En las pautas de 1998 el límite está en 10 GHz, en la actual está en 6 GHz. A su vez en las pautas de 1998 la restricción básica S representa la

densidad de potencia de la onda incidente, mientras que en la ICNIRP 2020 Sab es la densidad de potencia de la onda transmitida en el cuerpo, es decir la densidad de potencia absorbida.

A frecuencias mayores a 6 GHz interesa la densidad de potencia debido a que la profundidad de penetración es muy pequeña. El área en donde evaluar la exposición local se ha reducido de 20 cm^2 en ICNIRP 1998 a 4 cm^2 en ICNIRP 2020. De esta manera se evitan exposiciones excesivas en áreas concentradas. Asimismo, las nuevas pautas incorporan, para frecuencias mayores a 30 GHz, restricciones a la exposición a haces altamente focalizados, para los que considera un área de exposición de 1 cm^2.

A partir de los 400 MHz la ICNIRP 2020 incorpora nuevas restricciones básicas: SA y Uab, con el objeto de tener en cuenta las exposiciones de corta duración, de hasta 6 minutos, a campos discontinuos (campos no pulsantes, cualquier tipo de pulso, grupo de pulsos o subgrupo de trenes de pulsos, etc.).

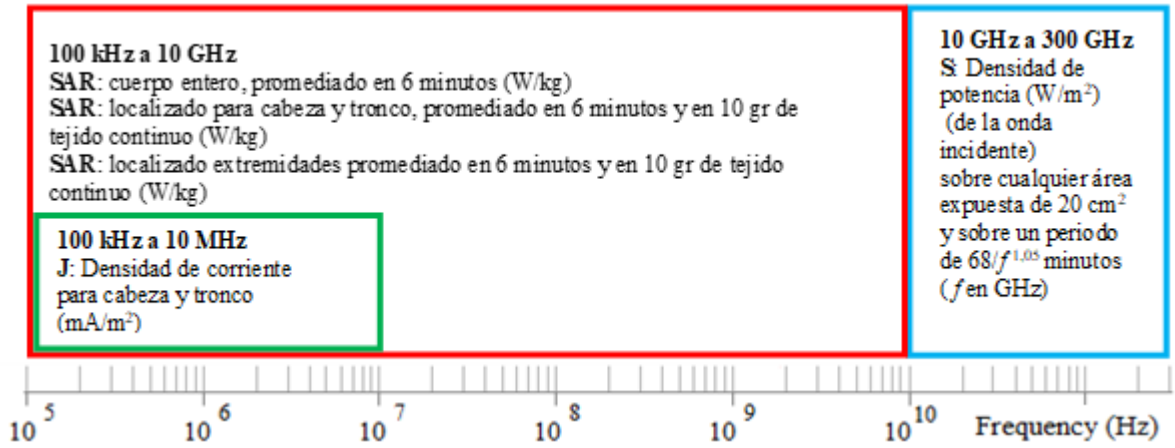


Fig. 1. Cantidades físicas que determinan las restricciones básicas, y condiciones de medición establecidas por la ICNIRP 1998 en el rango de las radiofrecuencias

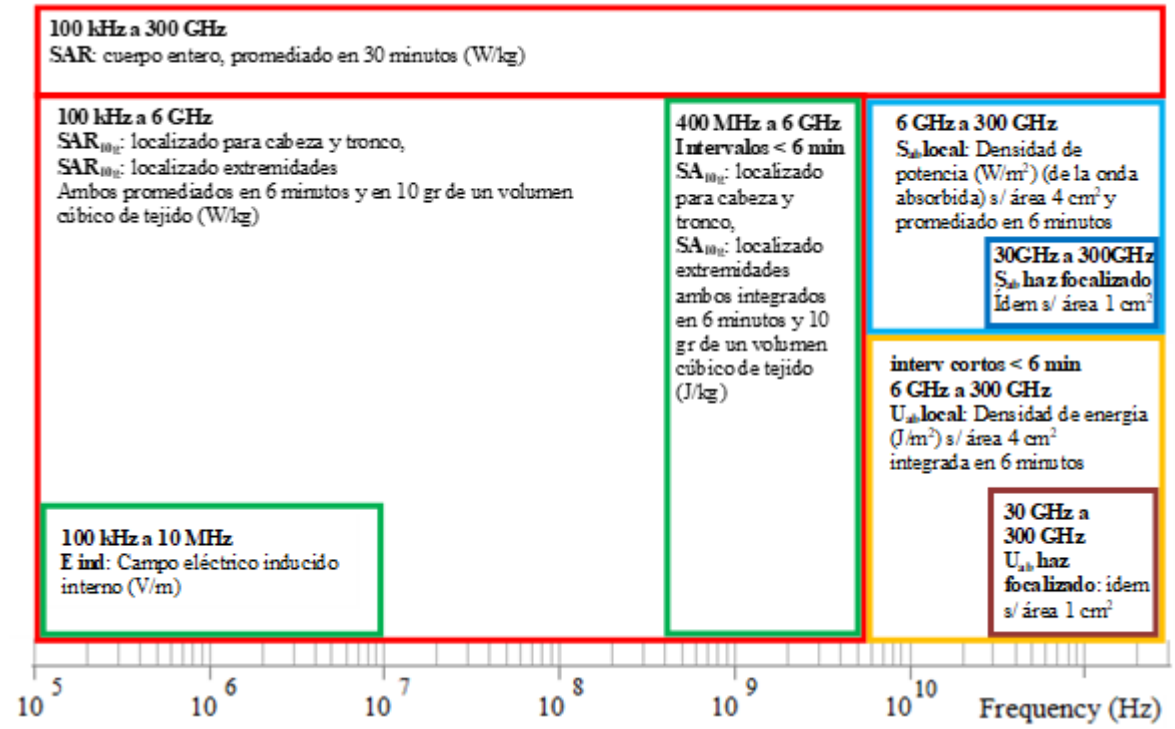


Fig. 2. Cantidades físicas que determinan las restricciones básicas y condiciones de medición establecidas por la ICNIRP 2020 (válida para el rango de las radiofrecuencias).

En la Fig. 1 se indican por bandas de frecuencia, las cantidades físicas que determinan las restricciones básicas y las condiciones de medición establecidas por la ICNIRP 1998 en el rango de las radiofrecuencias, mientras que en la Fig. 2 aquellas que establece la ICNIRP 2020, en todo su rango.

Comparando ambas figuras (Fig.1 y Fig. 2) se puede comprobar la incorporación de nuevas cantidades físicas entre las restricciones básicas, como son: el campo eléctrico inducido Eind, la densidad de potencia absorbida Sab, la densidad de energía absorbida Uab, y la absorción específica de energía SA. Ello se debe a los avances científicos que permitieron un aumento en la precisión de los efectos, así como a la necesidad de abarcar futuras tecnologías que utilicen frecuencias mayores a 6 GHz, como podría ser la tecnología 5G [4].Donde más se ponen de manifiesto los cambios en las especificaciones de aplicación de las nuevas pautas es en la incorporación de cantidades físicas de exposición definidas para establecer los niveles de referencia, tal como a continuación detallaremos.

B. Niveles de Referencia

Las especificaciones para evaluar los niveles de referencia en el rango de las radiofrecuencias resultan sustancialmente más complejas que las que brindan las pautas anteriores. En la Fig. 3 se indican por bandas de frecuencia, las cantidades físicas de exposición que determinan los niveles de referencia y las condiciones de medición establecidas por la ICNIRP 1998 en el rango de las radiofrecuencias, mientras que en la Fig. 4 aquellas que establece la ICNIRP 2020.

Para la ICNIRP 1998 resulta suficiente evaluar el campo eléctrico E y el campo magnético H en todo el rango de RF, exigiendo, además, para las frecuencias mayores a 10 MHz el cumplimiento del nivel de densidad de potencia de la onda electromagnética S, ver Fig. 3.

La ICNIRP 2020, además de los niveles de referencia de campo eléctrico (Einc), campo magnético (Hinc) y densidad de potencia (Sinc) incorpora un nuevo nivel de referencia para frecuencias mayores o iguales a 400 MHz: densidad de energía incidente (Uinc) para las exposiciones de corta duración a campos discontinuos, no contempladas por las pautas anteriores, ver Fig. 4.

Las nuevas pautas a diferencia de las anteriores, discriminan entre exposición de cuerpo entero (Tabla 5 de la norma), exposición localizada y altamente focalizada (Tabla 5 de la norma), y exposición de corto intervalo (Tabla 7 de la norma), ver Fig 4. A su vez, para cada tipo de exposición indican diferentes reglas de aplicación según se trate de exposición en el campo lejano, en el campo cercano radiante o en el campo cercano reactivo, ver Fig 4.

Comparando ambas figuras (Fig. 3 y Fig. 4) resulta evidente el aumento de complejidad en la aplicación de la ICNIRP 2020, producto de la mayor discriminación en las condiciones de exposición.

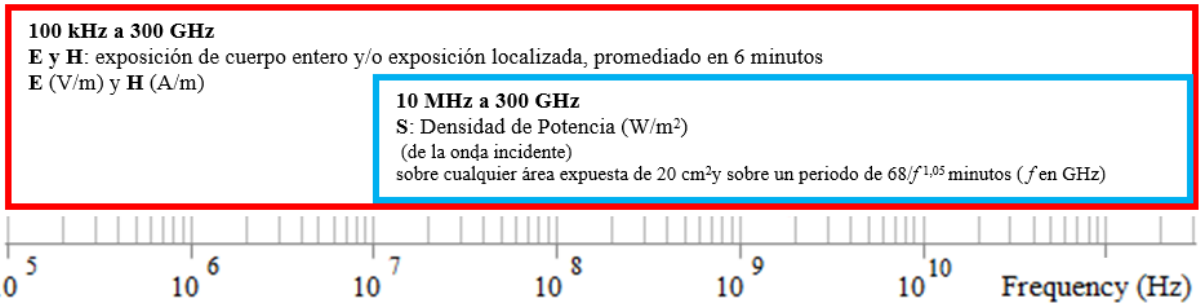


Fig. 3. Cantidades físicas que determinan los niveles de referencia y condiciones de medición establecidas por la ICNIRP 1998 en el rango de las radiofrecuencias.

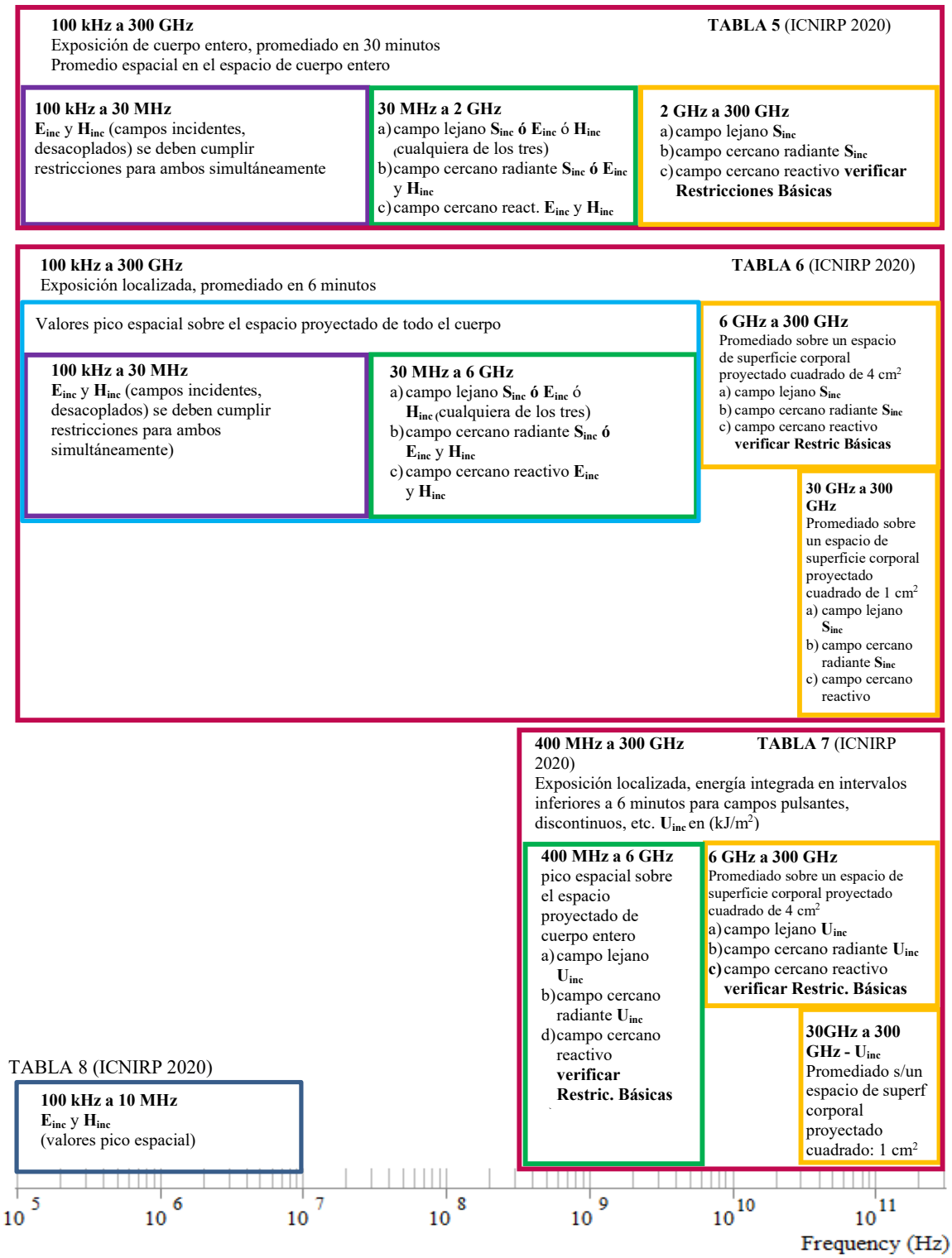


Fig. 4. Cantidades físicas que determinan los niveles de referencia, condiciones de medición y reglas de aplicación establecidas por la ICNIRP 2020 (válida en el rango de las radiofrecuencias).

III. VALORES LÍMITES DE LOS NIVELES DE REFERENCIA

A modo de ejemplo hemos analizado la exposición para el público en general comparando los valores límites que establecen ambas normativas. En el gráfico de la Fig. 5 se trazan las curvas de valores límites para los niveles de referencia, para el público en general, según ambas pautas. Cabe destacar que no es objeto del presente trabajo transcribir las tablas con

los valores límites que especifican las nuevas pautas, para lo cual se recomienda consultar directamente la misma [1].

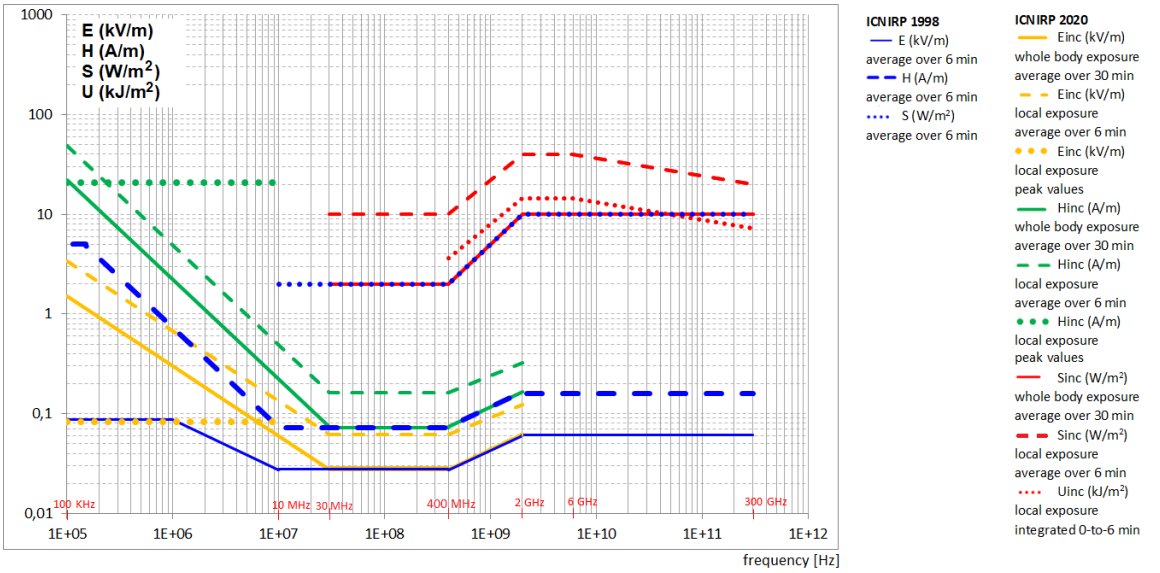


Fig. 5. Valores límites de niveles de referencia para exposición del público en general, en el rango de las radiofrecuencias, según ambas pautas: ICNIRP 1998 e ICNIRP 2020.

En la Fig. 5, entre los 30 MHz y 2 GHz se observa una coincidencia entre las curvas especificadas por las pautas ICNIRP 1998 (E, H y S, curvas línea azul continua, línea azul a tramos y línea azul punteada, respectivamente) con las correspondientes a las pautas ICNIRP 2020 para exposición de cuerpo entero (Einc amarilla continua, Hinc verde continua y Sinc roja continua). Por debajo de los 30 MHz los valores límites fijados por la nueva norma para E y H resultan mayores que los indicados por las pautas anteriores, mientras que la cantidad Sinc no se aplica en este rango según las nuevas pautas. Para frecuencias mayores a 2 GHz Einc y Hinc no son aplicables según las nuevas pautas, mientras que el valor límite para la densidad de potencia para exposición de cuerpo entero, resulta coincidente según ambas normas. Para un análisis más detallado sobre la comparación de las curvas de la Fig. 5 y su banda de frecuencia de aplicación, se recomienda consultar la referencia [5].

CONCLUSIONES

Las pautas ICNIRP 2020, presentan un mayor grado de complejidad en su aplicación, al discriminar entre condiciones de exposición de cuerpo entero, localizada, local por haces altamente focalizados y exposición breve para campos discontinuos, así como por la observación de diferentes reglas, según se trate de exposición en campo lejano, campo cercano radiante o campo cercano reactivo. En lo que respecta a los valores límites en sí, es importante aclarar que aun cuando ambas pautas (1998 y 2020) indiquen un mismo valor de nivel de referencia, éste puede resultar en un diferente grado de exposición de las personas, dada las diferentes condiciones de exposición que ambas directrices fijan.

REFERENCIAS

[1] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Health Phys 118 (5):483-524; 2020.

[2] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying Electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4):494-522; 1998.

[3] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 hz to 100 kHz) Health Physics 99(6):818-836; 2010.

[4] ICNIRP. “Difference between the 1998 and 2020 RF EMF Guidelines” <,https://www.icnirp.org/en/differences.html.>

[5] Vernieri J.Z., Gross P.M, Ciafardini J.P. Modificaciones y nuevas categorías en los valores límites de exposición a RNI. Congreso IEEE ARGENCON 2020 Argentina, 1 al 4 de diciembre 2020.

ESTIMACIÓN DE LOS ESTADOS DE CARGA Y DE SALUD EN SISTEMAS HÍBRIDOS BASADOS EN SUPERCAPACITORES Y BATERÍAS DE LITIO

Fornaro Pedro O., Battaiotto Pedro E., Puleston Paul F.
Instituto de Investigaciones en Electrónica, Control y Procesamiento de Señales LEICI – UNLP-CONICET. 48 y 116 s/n, La Plata (1900), Buenos Aires, Argentina. e-mail:
pedro.fornaro@ing.unlp.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo, enmarcado en la línea de investigación de módulos de almacenamiento de energía no convencionales (MANC), se presentan avances en el diseño de un estimador para los Estados de Carga (EC) y Salud (ES) en un sistema híbrido de almacenamiento de energía conformado por baterías de Ión-Litio (BL) y Supercapacitores (SC). El mismo está basado en técnicas por modos deslizantes (MD), y en particular el trabajo desarrollado se encuentra enfocado en el campo de aplicación de los vehículos eléctricos.

Hoy en día, numerosos estudios han demostrado la limitación práctica que poseen las energías renovables en cuanto al almacenamiento de energía. Esto último resalta la importancia de los MANC, en un marco de creciente utilización de sistemas híbridos tanto a pequeña como a gran escala, sobre todo debido a su capacidad de manejar grandes niveles de potencia. En particular, la versatilidad de los SC y BL para poder funcionar como módulos de almacenamiento o *buffers* en un mismo sistema y su excelente performance en términos de eficiencia, vida útil y densidad de potencia, los convierte en elementos de sumo interés para la comunidad científico-tecnológica en el desarrollo de vehículos eléctricos y sistemas híbridos de energía renovables [1][2].

Actualmente, los SC son foco de interés principalmente debido a su gran densidad de potencia [3]. Sin embargo, como principal desventaja, estos dispositivos no poseen grandes niveles de densidad de energía. Por esto, es necesario utilizarlos junto con otras fuentes de almacenamiento, como BL [4]. Son múltiples los desafíos que se enfrentan para poder emplear SC o BL en un sistema. Para empezar, debido a las bajas tensiones nominales, tanto de las BL como de los SC, es necesario un agrupamiento en serie o serie-paralelo de celdas elementales, principalmente para elevar la tensión de trabajo a valores prácticos.

Prosiguiendo, para conservar la vida útil de estos arreglos, es necesario incorporar sistemas de balanceo, regulación, medición y protección, que se encarguen de mantener las tensiones, corrientes y temperaturas de los módulos dentro de un rango seguro de operación. En las BL, estos sistemas son conocidos como BMS (Battery management system). En algunos casos, los mismos se encargan además de proveer medidas confiables de los Estados de Carga (EC) y Salud (ES), los cuales cuantifican la energía disponible y el grado de deterioro respectivamente. Estos estados son igualmente empleados en BL como en SC.

Tanto el EC como el ES pueden ser obtenidos indirectamente mediante la estimación de las capacidades y resistencias de modelos eléctricos equivalentes. Es por esto que, tanto el modelado como la identificación de estos sistemas de energía es de suma importancia para lograr una adecuada regulación y control al integrar estos módulos en sistemas de mayor energía. Así es que adquiere una gran relevancia incorporar técnicas de observación y estimación, con el objetivo de extraer información de los parámetros característicos de cada sistema de almacenamiento.

2. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Como ha sido brevemente mencionado, el problema es cómo obtener medidas confiables tanto del EC como del ES de los sistemas de almacenamiento. Esto puede hacerse a partir

de estimaciones de las resistencias y capacidades de modelos de circuitos eléctricos equivalentes (MCE). A su vez, una adecuada caracterización tanto de los SC como de las BL permitiría expandir el área de operación segura de estos sistemas. Normalmente esta región de operación queda definida por los datos de corrientes y tensiones máximas indicadas por los fabricantes. Sin embargo, al contar con una adecuada caracterización de los módulos de almacenamiento es posible modificar las definiciones convencionales utilizadas para aumentar el aprovechamiento energético, preservando al mismo tiempo la vida útil de estos dispositivos. Antes de pasar a la definición formal de las variables deseadas, se hace una breve presentación del sistema bajo estudio.

2.1. sistema híbrido de almacenamiento basado en SC y BL

En la figura 1 puede observarse un esquema de la topología estudiada en este trabajo. Esta posee dos módulos de almacenamiento, conectados de forma independiente y a través de dos convertidores a un bus de tensión continua.

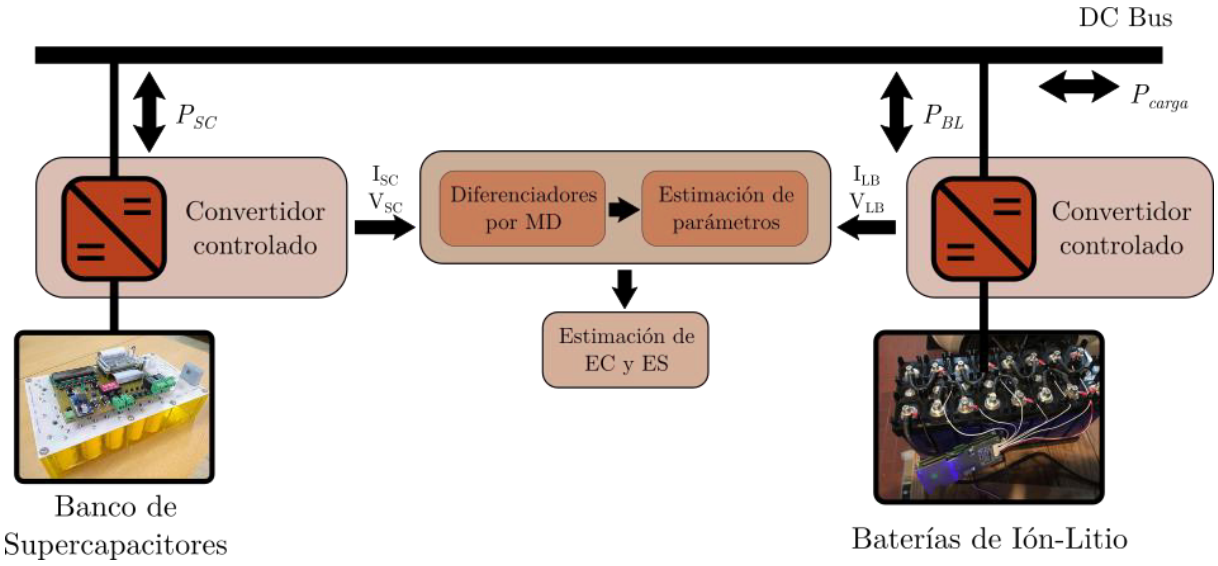


Figura 1. Sistema híbrido para vehículos eléctricos bajo estudio.

El banco de SC fue íntegramente diseñado en el Instituto LEICI de la FI, UNLP-CONICET. Se utilizaron SC de doble capa electrostática y el mismo posee una capacidad nominal de 80 [F] y una tensión nominal de funcionamiento de 27 [V]. Este valor de tensión se consiguió a partir de colocar en serie 10 SC EATON *Powerstore XV Series* de 400 [F] y 2.7 [V] nominales. En cuanto a las BL, se dispone de un banco de 48 [V] construido con 16 celdas de baterías de tipo $LiFePO_4$ en serie de 50Ah, y reguladas con dos BMS industriales JBD 8S con protección por sobrecarga.

Cada sistema se encuentra regulado de forma independiente y cumpliendo con distintas estrategias de control. El objetivo de las BL es principalmente el de satisfacer la demanda de corriente correspondiente a la potencia media demandada por el bus de continua. Esto se encuentra regulado por un convertidor DC/DC controlado por corriente. No está de más aclarar que este diseño puede aportar versatilidad a la topología en cuestión, dado que el valor de la referencia de corriente podría ser provisto por algún algoritmo supervisor, cumpliendo distintas estrategias de control y/o supervisión.

Complementariamente, los SC son los encargados de lidiar con las variaciones abruptas de corriente en el bus, mediante el empleo de un control que a través de un convertidor DC/DC independiente, mantiene regulada en un valor constante la tensión de contina del bus. Es

importante destacar que, si las corrientes de alta frecuencia fueran entregadas por la BL, esto podría causar serios perjuicios y deterioro en las celdas.

2.2. Parámetros de interés en los sistemas de almacenamiento

Como ya fue brevemente mencionado, el Estado de Carga y el Estado de Salud son parámetros fundamentales para regular el comportamiento de los MANC durante la operación de los mismos. Mediante la técnica de estimación desarrollada en la línea de investigación de este trabajo [5], será posible modificar las definiciones comunmente utilizadas, para lograr ampliar el área de operación segura de las BL y SC.

2.2.1. Estado de salud.

El estado de salud permite cuantificar el grado de deterioro de las BL y/o de los SC. Convencionalmente, este estado toma valores entre 1 (módulos sanos) y 0 (módulos no aptos para la aplicación en concreto). Los estados máximos y mínimos se obtienen de comparar los valores de la impedancia serie y la capacidad de carga, con los valores nominales para estos parámetros y con los valores mínimos plausibles que podrían tomar estos parámetros para cada aplicación enconcreto. Por ejemplo para el caso de vehículos eléctricos, se emplea como mínimo valor de referencia, un 80% de la capacidad nominal máxima, y un 100% de aumento en el valor de la impedancia serie. A modo ilustrativo, en este trabajo se obtiene el ES a través de un calculo en el cual interviene la resistencia serie de los módulos [6]:

$$\widehat{ES} = \frac{\hat{r}_s - r_{eol}}{r_N - r_{eol}} \tag{1}$$

con $r_{eol} = 1.6\, r_N$ siendo las resistencias máxima admisible (end-of-life) y nominal de cada módulo. Convencionalmente, las mediciones del estado de salud de las BL o SC, son realizadas con el vehículo fuera de funcionamiento. Sólo de esta forma sería posible someter a la batería a un ciclo completo de carga-descarga para realizar una medición detallada de la capacidad máxima de carga o de la resistencia serie. Sin embargo, esto no es necesario en el esquema propuesto en este trabajo, debido a que se podría contar constantemente con estimaciones de los parámetros de un modelo eléctrico equivalente.

2.2.2. Estado de carga.

El estado de carga permite cuantificar, respecto de la carga nominal máxima de la batería, cuál es la carga disponible. Vale la pena destacar, que métodos sencillos como la medición de la integral de la corriente, o tablas de look-up basadas en la comparación entre las curvas de EC y tensión de circuito abierto brindadas por el fabricante, son aplicables en vehículos eléctricos sólo admitiento errores muy considerables (>10%). Esto se debe a que para que estos métodos sean válidos, se requieren largos tiempos de espera, tanto para medir adecuadamente la tensión de circuito abierto, como para actualizar correctamente el valor inicial de carga. Por esto último en este trabajo, se plantea el cálculo del estado de carga a través de una integral evaluada con los parámetros de los circuitos elécritos equivalentes. Estos se verán en detalle en la próxima subsección.

$$\widehat{EC} = \frac{\hat{Q}}{Q_N} = \frac{Q_0 - Q(t)}{Q_N} = EC_0 + \frac{C(t)(\Delta V)}{Q_N} \tag{2}$$

Notar que al igual que en el caso del ES, es factible actualizar correctamente la evolución del EC a través de una actualización no sólo de los parámetros del modelo de circuito eléctrico equivalente, sino también a través de una estimación de la máxima capacidad de carga disponible.

Además de los EC ES, empleando las estimaciónes en tiempo real provistas por el estimador de parámetros variantes, es posible obtener otros parámetros que son de interés en la temática. Por ejemplo: el estado de función, el cual permite determinar la máxima

potencia que puede ser entregada o tomada por los MANC, la autonomía de las baterías (aplicable en el caso de vehículos eléctricos), y la vida útil disponible de las baterías, el cual es una medida aproximada de la cantidad de ciclos de carga/descarga disponibles para los sistemas de almacenamiento.

2.3. Modelo de circuito eléctrico variante en el tiempo

Para realizar la estimación de los parámetros característicos de los sistemas de almacenamiento es fundamental contar con un modelo adecuado. Ha sido probado que los modelos de eléctrico (MCE) son aptos para representar la dinámica de las LB y de los SC, cuando estos se encuentran sujetos a perfiles de demanda variables, como los que se obtienen al utilizar estos módulos en vehículos eléctricos. Por este motivo, se utiliza un MCE con parámetros variantes en el tiempo de orden dos para las BL y de orden uno para el SC como puede observarse en la figuras 2.

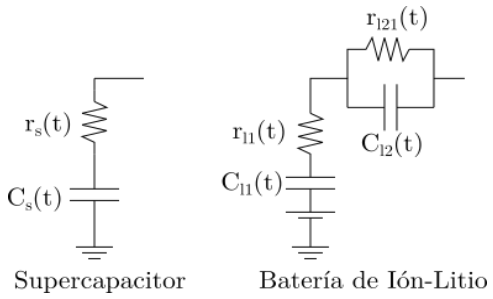


Figura 2. Modelos de circuito eléctrico equivalente con parámetros variantes en el tiempo.

Emplear un circuito variante en el tiempo posee múltiples ventajas. Por un lado permite modelar dinámica no lineal, tanto de las BL como de los SC. Respecto de las BL por ejemplo, es conocida la relación no lineal que existe entre la tensión de circuito abierto y el estado de carga (observar figura 2). Por otro lado, todas las variaciones temporales que puedan ocurrir en los parámetros del modelo podrán ser detectadas. Por ende, también será posible mejorar el seguimiento de los EC y ES.

3. ESTIMACIÓN PARAMÉTRICA EN TIEMPO REAL BASADA EN DIFERENCIADORES POR MODOS DESLIZANTES.

En esta sección es presentada una descripción generalizada de los fundamentos del algoritmo de estimación basado en modos deslizantes desarrollado [5]. Dado que el sistema se encuentra formado por dos subsistemas desacoplados, se procede a describir brevemente el funcionamiento de cada uno de ellos de forma independiente. Para el lector/a interesada puede encontrarse un esquema detallado de la metodología utilizada en [5].

3.1. Estimador recursivo con factor de olvido y ganancia variable

Para poder realizar la estimación de los parámetros, es necesario contar con ecuaciones lineales en los parámetros desconocidos. Para esto en primer lugar se parte de los modelos lineales de la figura 2, y se realiza una transformación, llevando el sistema a la forma canónica generalizada de Fliess [5]. Al hacer esta transformación puede llevarse a cabo una estimación recursiva de los parámetros de los sistemas de almacenamiento. Sin embargo, es necesario agregar una modificación en el algoritmo convencional: una ganancia variable. Esto se debe a que el algoritmo debe obtener en tiempo real los parámetros de los módulos de almacenamiento satisfaciendo la demanda de potencia de un vehículo eléctrico. Como consecuencia, la llamada persistencia de la señal de excitación (PE) del algoritmo varía conforme demanda la potencia. La PE es indicativa de la cantidad de información disponible en la entrada del algoritmo de estimación, y con ella es posible obtener una cota para el tiempo de convergencia del mismo. Este último punto es fundamental, en vistas de que se desea validar los parámetros estimados rápidamente.

3.2. Diferenciadores basados en modos deslizantes

Para que el algoritmo de estimación funcione correctamente, es necesario contar con derivadas robustas tanto de las corrientes como de las tensiones de cada módulo. Para esto se diseñó un conjunto de derivadores basados en modos deslizantes. Estos poseen dos

características que los hacen esenciales para esta aplicación en concreto. Por un lado, es posible obtener estimaciones continuas de las derivadas deseadas. Por otro lado, el proceso posee un filtrado por modos deslizantes que permite rechazar distintos tipos de ruido, incluyendo ruidos no acotados de bajo valor medio. Una ventaja fundamental de esta propuesta, a comparación de los esquemas que utilizan observadores de estados adaptables, es que el proceso de diferenciación y el de estimación se encontrarán completamente desacoplados.

4. RESULTADOS

En esta sección son presentados algunos de los resultados más representativos de las simulaciones realizadas para la estimación de los EC y ES del SC y la BL. Para evaluar el algoritmo y la metodología propuesta, se asumió que el módulo SC/LB opera bajo la demanda de un perfil variable de corriente. El mismo fue generado consistentemente con el perfil de conducción vehicular estandarizado Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) [7].

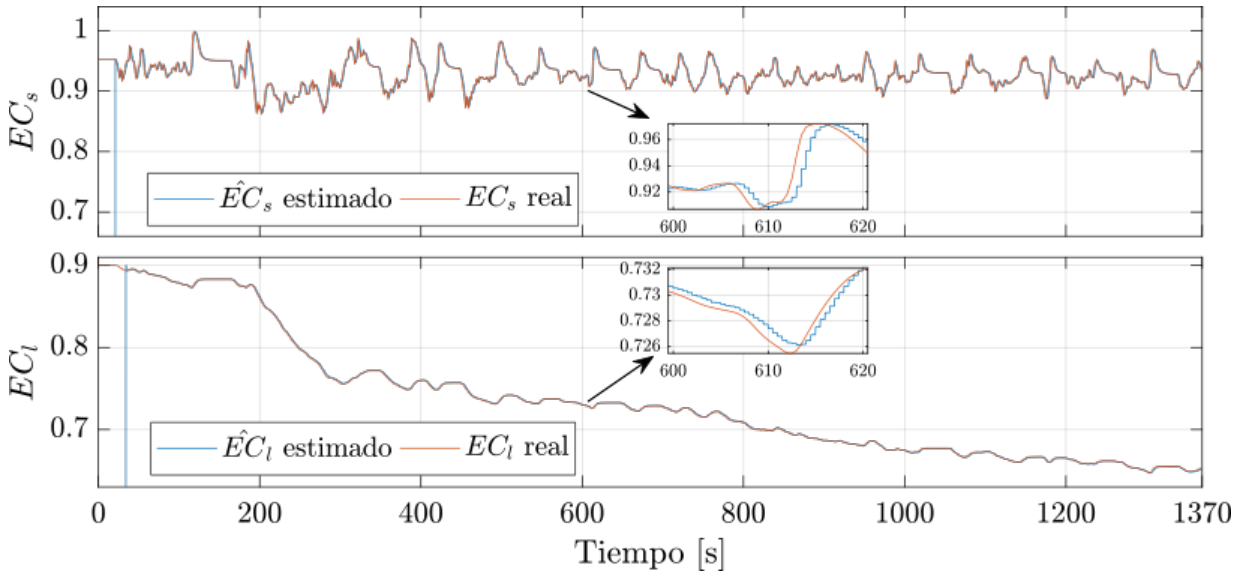


Figura 3. Modelo de circuito eléctrico equivalente de parámetros variantes.

La comparación entre el EC real y el estimado, puede observarse en la Fig. 3. Puede apreciarse en las zonas con zoom, que el error se encuentra muy aproximadamente debajo del 2% para el EC_S y es aún menor para el EC_L. La estimación de los parámetros no solamente es una herramienta para el cálculo indirecto del EC, sino que también ofrece la posibilidad de inferir el ES de los módulos. Evaluando el ES mediante las resistencias serie de los módulos, como en la ecuación 1, se obtienen los resultados de la Fig. 4. Valores cercanos a 1 indican módulos mas sanos, y valores cercanos a cero manifiestan el deterioro de los mismos.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron algunos avances en el desarrollo de una metodología para estimar en tiempo real el EC y ES de un módulo híbrido de almacenamiento de energía basado en SC+BL. La principal contribución es el diseño de una metodología ad-hoc para aplicaciones vehiculares. El modelo de circuito eléctrico para los módulos de almacenamiento de energía fue utilizado con parámetros eléctricos variantes en el tiempo. Esto otorga gran flexibilidad y capacidad de lidiar con las no linealidades intrínsecas a estos módulos de almacenamiento.

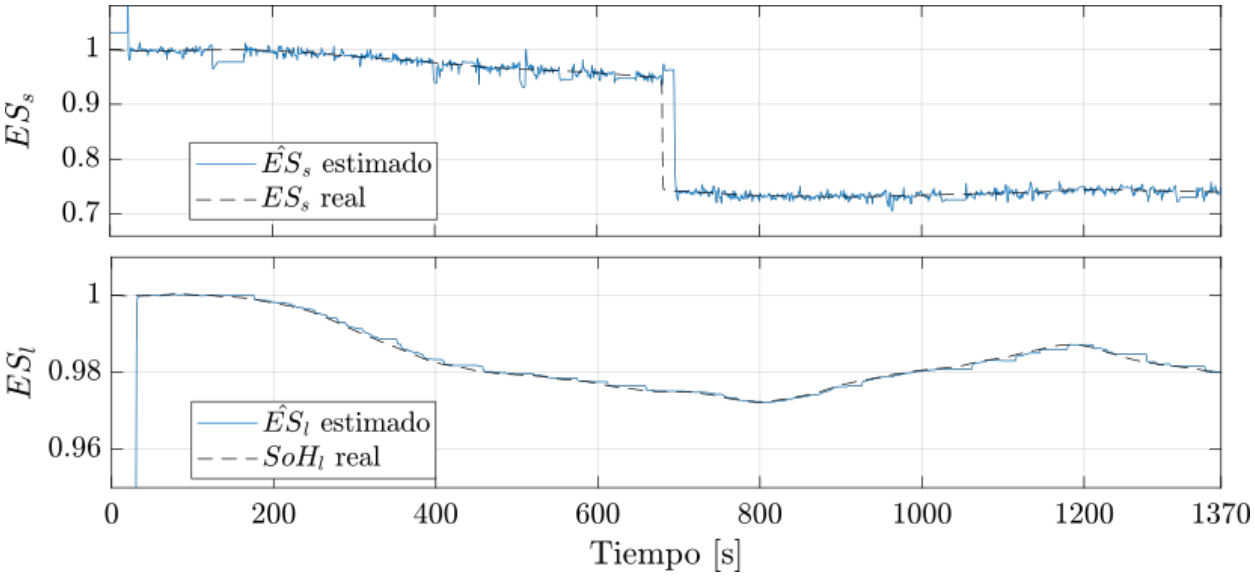


Figura 4. Modelo de circuito eléctrico equivalente de parámetros variantes.

Por último, la metodología propuesta fue evaluada con perfiles de conducción vehicular estandarizados. Los resultados mostraron que el algoritmo es capaz de seguir las variaciones temporales propuestas, lo cual posibilita no sólo inferir el EC, sino también realizar un seguimiento del ES en tiempo real, durante la operación de los módulos bajo un perfil de carga estandarizado para vehículos eléctricos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al soporte de la Universidad Nacional de La Plata, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, y la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación el Desarrollo Tecnológico y la Innovación.

REFERENCIAS

[1] I. San Martín, A. Ursúa, P. Sanchis, “Integration of fuel cells and supercapacitors in electrical microgrids: Analysis modelling and experimental validation,” International journal of hydrogen energy, Vol 38, 2013.

[2] S. M. Lukic, S. G. Wirasingha, F. Rodriguez, J. Cao, A. Emadi, “power management of an ultracapacitor/battery hybrid energy storage system on a hybrid electric vehicle,” 2006 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference.

[3] A. B. Cultura II, Z. M. Salameh, “Modelling, evaluation and simulation of a supercapacitor module for energy storage application,” International conference on computer information systems and industrial applications, 2015.

[4] P. Barrade, A. Rufer, “Current capability and power density of supercapacitors: considerations on energy efficiency,” EPE 2003, Toulouse, France 10th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE Journal, Enero de 2003.

[5] P. Fornaro, P. Puleston, P. Battaiotto, “On-line parameter estimation of a lithium-Ion battery /supercapacitor storage system using sliding mode differentiators”, J. of energy Storage, Vol. 32, 2020.

[6] M. Gholizadeh, F. R. Salmasi, Estimation of state of charge, unknown nonlinearities, and state of health of a lithium-ion battery based on a comprehensive unobservable model, IEEE Transactions on Industrial Electronics Vol. 6, 2014.

[7] EPA profiles,http://www.epa.gov, ultimo acceso: 05-01-2019

RECEPTOR GNSS DOBLE ANTENA Y MULTI FRECUENCIA PARA NANOSATÉLITES COMPATIBLE CON FORMATO CUBESAT

Rodríguez, Santiago; Díaz, Juan G.; López La Valle, Ramón.; López, Ernesto M.; Scillone, Germán y García, Javier G.

UIDET SENyT, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata, Calle 116 s/n, B1900, La Plata, Argentina.
Contacto: santiago.rodriguez@ing.unlp.edu.ar

1. Introducción

Entre las principales líneas de trabajo de la UIDET SENyT se destaca al desarrollo de sistemas de navegación y telecomunicaciones. En particular, previamente a la creación de la UIDET se han desarrollado receptores para Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) de alto desempeño aptos para aplicaciones espaciales en donde se requiere una elevada confiabilidad [1]. En este trabajo, se presenta la implementación y las pruebas de funcionamiento parciales de un receptor GNSS apto para su uso en satélites con factor de forma compatible con los denominados cubesats. El receptor posee dos entradas de antena y es capaz de operar en las bandas L1 y L2 de GPS y L1 de GLONASS, dos de los principales sistemas de navegación por satélite a nivel global.

Durante los últimos años, ha habido un aumento en el uso de nanosatélites porque ofrecen una alternativa de bajo costo y un tiempo de desarrollo menor a los satélites más grandes destinados a misiones de larga duración. El uso de componentes comerciales (COTS) en lugar de los costosos componentes de grado espacial requeridos para misiones largas es una de las principales razones de la alta popularidad de los nanosatélites. En comparación con los satélites tradicionales, los nanosatélites suelen utilizar órbitas bajas (LEO) y requieren un volumen pequeño y costos de fabricación bajos. El acceso al espacio experimentó un salto de popularidad con la creación de los CubeSats por parte de la Universidad Politécnica de California hace unos veinte años, lo que ha permitido que cientos de organizaciones educativas o privadas lleven a cabo misiones espaciales tanto de interés científico como comercial [2]. Por su factor de forma particular, los CubeSats permiten su lanzamiento de a grupos utilizando *dispensers*, disminuyendo los costos en comparación con los satélites tradicionales, mucho más voluminosos y pesados.

Existen ciertas aplicaciones donde puede ser útil que un CubeSat conozca con precisión su posición, como por ejemplo para el seguimiento orbital de la trayectoria del satélite. Por otra parte, considerando los recientes avances en el desarrollo de cámaras digitales aptas para CubeSat que permiten realizar la observación de la Tierra, adquiere sentido conocer la ubicación del CubeSat para saber qué región del planeta alcanza la cámara. En el uso de arquitecturas satelitales segmentadas también es sumamente útil conocer la posición y velocidad con el fin de que la red satelital pueda funcionar correctamente. Para ello es importante conocer la posición absoluta y relativa de los satélites con alta precisión para que la red pueda efectuar una operación conjunta. Por ejemplo, para la toma de imágenes con radar de apertura sintética (SAR) distribuido, es necesario conocer la posición de los satélites para obtener una correcta integración de la imagen conjunta. Para que el satélite se desempeñe en las aplicaciones mencionadas, el vehículo debe contar con un receptor de GNSS que utilizan constelaciones de satélites de órbita media (MEO) para determinar la posición y velocidad de un vehículo. En la actualidad los sistemas GNSS completamente operativos son GPS y GLONASS. En particular son de interés en este trabajo

las señales GPS L1, GPS L2 y GLONASS L1. Un receptor GNSS multibanda permite, en principio, resolver posición y velocidad con mayor precisión que uno monobanda [3].

2. Desarrollo y discusión

2.1 Descripción del diseño de hardware propuesto

El diseño propuesto se basa en la arquitectura típica de un receptor GPS que consta de una etapa de radiofrecuencia (RF) y una plataforma de procesamiento digital [4]. La etapa de RF, implementada parcialmente en el circuito integrado NT1065, recibe las señales de las antenas y proporciona la amplificación y el filtrado necesarios. Las señales de RF se convierten a una frecuencia intermedia más baja (FI) para realizar la conversión de analógico a digital. La plataforma de procesamiento digital recibe las muestras, realiza las correlaciones necesarias para adquirir los satélites en línea de vista de la antena, demodula los datos y calcula la solución de navegación, que se envía a otro dispositivo mediante una interfaz de comunicación.

En la Fig. 1 puede observarse un diagrama en bloques del diseño del receptor propuesto. La señal de cada antena es amplificada y separada en dos canales por un divisor de RF. Cada canal es filtrado con un filtro SAW (Surface Acoustic Wave) sintonizado para la banda de interés: un canal posee un filtro para banda GPS/GLONASS L1 y el otro para la banda GPS L2. Las señales filtradas ingresan a un circuito integrado que realiza la conversión de frecuencia y el muestreo en FI de manera configurable por el usuario. A la salida de este proceso se obtienen, por cada canal, dos bits por muestra que corresponden a la magnitud y signo de la muestra tomada de la señal de FI. Dichas muestras, junto a la señal de reloj de sincronismo del muestreo, ingresan a un SoC (System on Chip) sintetizado en un dispositivo lógico programable (FPGA). El SoC se encuentra formado por lógica sintetizada ad-hoc para el cálculo de las correlaciones necesarias y por un procesador que ejecuta un sistema operativo de tiempo real que comanda las acciones de todo el receptor. Para la implementación del SoC se emplean memorias tipo SRAM y FLASH. Para fines de depuración en laboratorio se cuenta con interfaces JTAG o USB-UART. En cuanto a las interfaces de comunicación propias de un CubeSat o microsatélite, el diseño cuenta con una interfaz RS-422, una UART, una interfaz I2C y dos interfaces CAN.Con el objetivo de lograr compatibilidad mecánica con módulos comerciales para CubeSats el receptor sigue el factor de forma indicado en [5]. Para la compatibilidad eléctrica se utilizaron dos conectores de 52 pines siguiendo el estándar PC-104 debido a que los módulos de un CubeSat suelen interconectarse mediante este estándar. Estos módulos se colocan uno encima de otro formando una estructura vertical. El número de módulos estipula el volumen que deberá tener el satélite que se mide en unidades de CubeSat (denominados U) siendo 1U el volumen mínimo equivalente a 10 cm x 10 cm x 10 cm. Pueden encontrarse CubeSats de 1, 2, 3, 6 y hasta 12 U.

El diseño del PCB (Printed Circuit Board) consta de diez capas en un sustrato de material FR4 de las cuales cuatro son capas de señal, siendo dos de ellas internas, cuatro son planos de tierra para minimizar el acople inductivo y dos son planos de alimentación, utilizados para distribuir las tensiones necesarias por el receptor priorizando la integridad de señal [6]. Los planos de tierra se encuentran intercalados entre capas de señal y por encima y debajo de los planos de alimentación, formando un esquema que favorece la integridad de señal. La mayor parte de los componentes se colocó sobre la capa superior, dejando la capa inferior mayormente para componentes pasivos, como capacitores y resistencias. El ancho de pista promedio utilizado es de 6 mils, debido principalmente al encapsulado de la FPGA que es tipo BGA de 484 bolas. Todas las vías utilizadas son pasantes y poseen un diámetro de

agujero de 0.2 mm y una corona de 0.46 mm de diámetro. Para el caso de las líneas de entrada de antena, se fijó una impedancia característica de 50Ω. Para ello, se implementó una línea de transmisión de tipo microtira en la capa superior utilizando un ancho de pista de 7 mils. Otras señales de importancia en cuanto a su integridad de señal son las de reloj de sistema y muestreo, así como los pares diferenciales de USB y RS-422. En estas líneas se realizaron simulaciones para asegurar la integridad de las señales. Para verificar que el diseño no poseía interferencias mecánicas de ningún tipo se integró el modelo 3D del receptor junto a modelos 3D de la estructura típica de un CubeSat. De esta manera también se verificó la correcta vinculación mecánica del receptor con otros módulos disponibles en el mercado que utilicen el mismo estándar de diseño. Finalmente, el diseño realizado fue fabricado y se ensambló parcialmente un primer prototipo con el fin de probar y validar la etapa de recepción y procesamiento de las señales GNSS de interés. En la Fig. 2 se muestra a la izquierda un renderizado del diseño colocado en una estructura de un Cubesat de 1U y a la derecha una foto del prototipo construido.

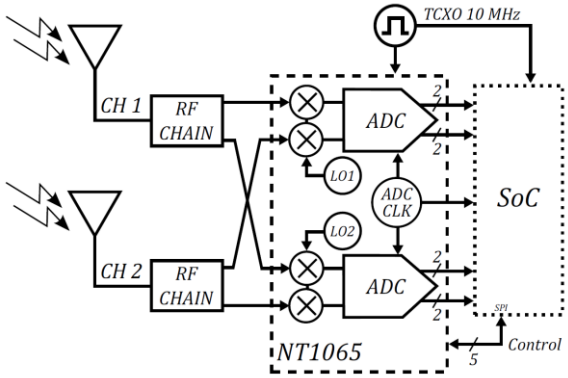


Figura 1 - Diagrama de bloques del diseño de hardware propuesto.

2.2. Diseño lógico del receptor

El diseño lógico integrado en la FPGA consta del procesador embebido LEON3 [7] junto con diversos periféricos. Todo el diseño lógico está desarrollado en el lenguaje de descripción de hardware VHDL priorizando la flexibilidad, la escalabilidad y la portabilidad entre diferentes plataformas. Los periféricos asociados al diseño lógico pueden dividirse en

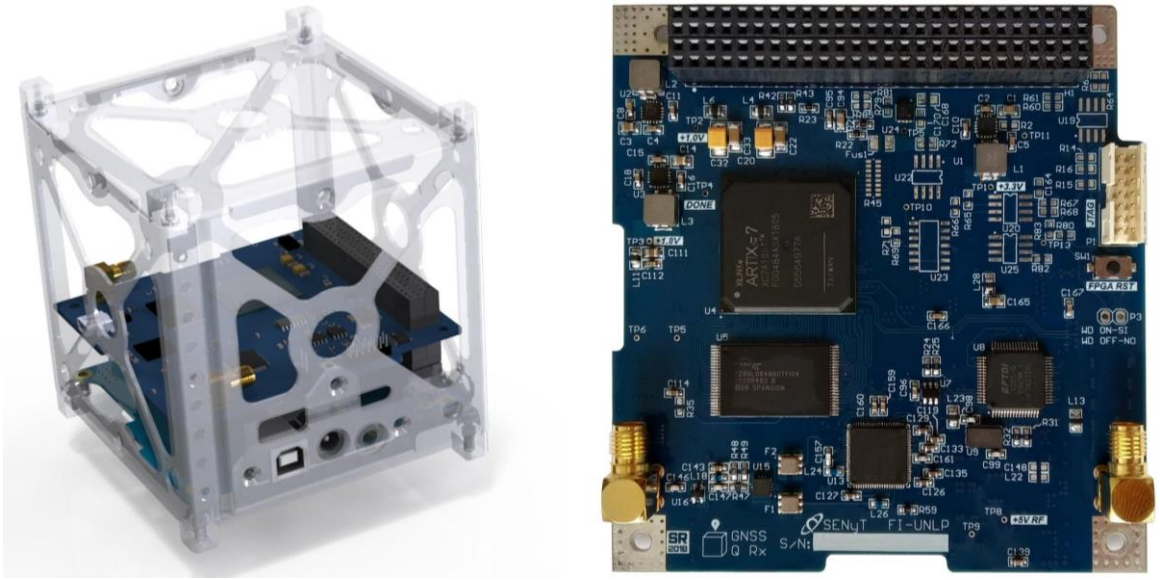


Figura 2 - Modelo del receptor en una estructura Cubesat (izq.). Foto del prototipo construido (der.).

dos grandes grupos: por un lado, se incluyen diversos periféricos provistos por las librerías de código abierto GRLIB [8], ampliamente difundidas y muy utilizadas en este tipo de aplicaciones. Por otro lado, el diseño también cuenta con periféricos desarrollados por el grupo de trabajo que cumplen tareas específicas y le otorgan funcionalidades adicionales al receptor. Dentro del primer grupo, entre los más importantes, pueden mencionarse los controladores de memoria SRAM y FLASH, controladores de interfaces UART, una interfaz de depuración para conexión con la PC (DSU), un controlador de interfaz SPI y un temporizador de tiempo real (RTC). En el segundo grupo se incluye un controlador de watchdog que permite reinicializar el receptor ante una eventual falla del software. Además, se cuenta con un módulo de adquisición de muestras en frecuencia intermedia que permite obtener las mismas muestras que procesa el receptor para poder descargarlas y procesarlas de forma *off-line* en una PC [9]. Esta funcionalidad es muy útil en las etapas de depuración o bien para verificar o monitorear las etapas de RF del receptor. Por último, se incluye un módulo de correladores destinados a procesar las señales de GNSS digitalizadas provenientes de la etapa de radiofrecuencia. El módulo de correladores contiene 24 canales independientes para procesar señales de GPS/GLONASS en la banda de L1 y 12 canales independientes para señales de GPS en la banda de L2. Además, se cuenta con un canal de adquisición rápida que está destinado a señales de GPS/GLONASS L1 y que permite acelerar la búsqueda de los satélites que estén en vista del receptor [10].

2.3. Resultados

Una vez integrado el prototipo se realizaron distintos ensayos para evaluar el funcionamiento eléctrico y realizar un análisis de la calidad de las señales GNSS que el receptor es capaz de adquirir.

2.3.1 Ensayos eléctricos

El primer ensayo consistió en medir las señales eléctricas críticas para el correcto funcionamiento de la plataforma como son las tensiones de la FPGA (3.3 V, 1.8 V y 1.0 V), la tensión de la etapa de RF (3.3 V, obtenidos a partir de un regulador lineal) y las formas de onda de las señales de reloj. En cuanto a las tensiones, todos los valores medidos cumplieron con el requerimiento de estar dentro del 5% de la tensión nominal. Por su parte, las señales de reloj de ingreso a la FPGA como así también la de ingreso a la etapa de radiofrecuencia poseían frecuencia y formas de onda adecuadas.

2.3.2 Ensayos de configuración del cabezal de RF

Una vez concluidas las pruebas eléctricas se realizó un ensayo de funcionalidad elemental que consistió en la configuración del cabezal de radiofrecuencia por medio de una aplicación de software. El procesador ubicado en la FPGA se comunica con el cabezal de RF utilizando una interfaz SPI por lo que se implementó un software que permitiera leer y escribir distintos registros del NT1065 con el fin de configurar los canales de adquisición del chip y así constatar luego los resultados con la configuración introducida.

2.3.3 Ensayo de adquisición de muestras de señales GPS L1/L2 y GLONASS L1.

Luego de verificar exitosamente la configuración del cabezal de RF se procedió a realizar un ensayo para constatar que las muestras que ingresaban a la FPGA fuesen de señales GNSS. En particular se configuró al cabezal para obtener muestras de GPS L1, L2 y GLONASS L1 y se utilizó un periférico sintetizado en la FPGA [9] que permitió tomar las muestras crudas tal cual se obtienen a la salida del NT1065, guardarlas en memoria RAM y

enviarlas a una PC por medio de una interfaz serie. Se corrieron los algoritmos de adquisición en una PC y se pudo verificar la presencia de satélites en los sistemas analizados al visualizar los correspondientes picos de correlación.

2.3.4 Ensayo funcional

Para una prueba de funcionamiento del receptor en condiciones operativas se realizó un ensayo mediante un simulador de constelaciones GNSS en un escenario de simulación a bordo de un CubeSat de 2U en una órbita polar heliosincrónica. Esta órbita referencia fue generada en forma previa mediante un modelado de alta precisión de la dinámica del sistema y pasada luego al generador de señales, cuya salida fue conectada a una de las entradas de antena del receptor. Este último fue configurado en modo GPS L1/L2 con el fin de analizar los resultados de la navegación a bordo funcionando con una única frecuencia L1 y en el modo doble frecuencia. Se obtuvieron además las mediciones crudas de pseudorangos y fases de portadora para su posterior procesamiento offline en la llamada determinación precisa de órbita.

La Fig. 3 muestra el error de posición con respecto a la órbita referencia de las soluciones de navegación a bordo en modo simple y doble frecuencia, ambas basadas en pseudorangos. Puede observarse la presencia de errores sistemáticos en el modo simple frecuencia, producto del retardo ionosférico no corregido, ya que dicha corrección es válida solamente para receptores terrestres. En cambio, el uso de mediciones en doble frecuencia permite eliminar dicho retardo mediante el armado de la llamada combinación libre de ionósfera de pseudorangos y fases de portadora, a costa de un incremento en el ruido de las mediciones. Por último, con el objetivo de analizar la calidad de las mediciones crudas se realizó la determinación precisa de órbita basada en mediciones de pseudorangos y fases de portadora en doble frecuencia, logrando así una solución de órbita de alta precisión. Para este procesamiento se empleó un filtro/suavizador de Kalman extendido con un enfoque de dinámica reducida [11]. La Fig. 4 grafica los errores de posición y velocidad en el marco de referencia orbital radial-tangencial-normal.

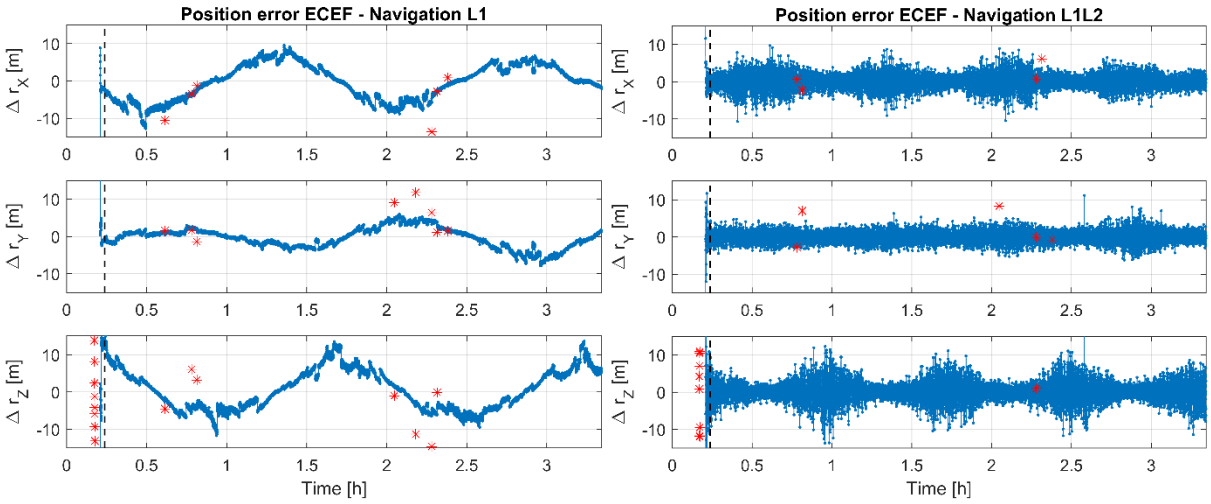


Figura 3 - Error en la solución de posición puntual a bordo de GPS L1 y GPS L1/L2. La línea punteada negra indica el tiempo de sincronización con el tiempo GPS. En rojo se marcan soluciones no validadas internamente.

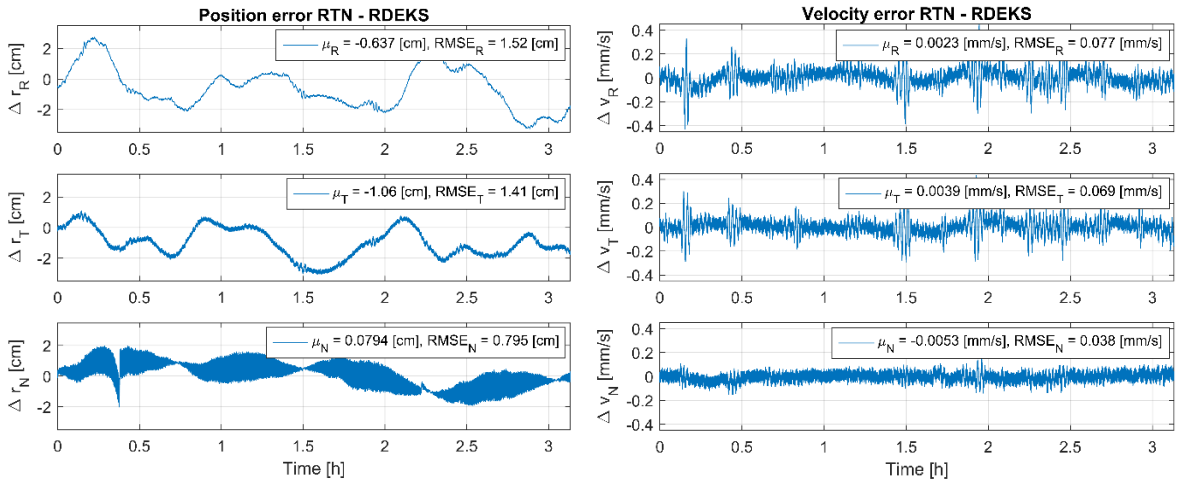


Figura 4 - Error de posición y velocidad en la determinación precisa de órbita.

Estos resultados permiten validar no solo el buen desempeño del receptor en las condiciones de funcionamiento en órbita, sino también verificar la alta calidad de las mediciones generadas, con vistas a su aplicación en misiones científicas que requieran de una solución de órbita con precisión del orden de los centímetros.

3. Conclusiones

Se presentó el diseño, construcción y validación parcial de un receptor GNSS doble antena y multifrecuencia orientado a CubeSats. Los ensayos realizados hasta el momento permitieron validar el diseño propuesto y verificar su correcto funcionamiento bajo la dinámica a la que se vería sometido en un satélite en órbita. El análisis de calidad de mediciones permite afirmar la aptitud del receptor para su uso en misiones satelitales con requerimientos de alta precisión. A su vez, estos ensayos sientan las bases para futuros ensayos más completos donde se utilicen ambas entradas de antena y un esquema multi-sistema.

4. Bibliografía

[1] J. Cogo, R. G. López La Valle, G. L. Puga, J. A. Smidt, J. G. Díaz, J. G. García, P. A. Roncagliolo y C. H. Muravchik; “Receptor GNSS Multiantena Para Aplicaciones Aeroespaciales”; Segundas Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión; FI-UNLP; 2013.

[2] M. Swartwout, “The First One Hundred CubeSats: A Statistical Look”, Journal of Small Satellites, vol. 2, no. 2, pp. 213-233, 2013.

[3] Kaplan, Elliot D. and Hegarty, Christopher J. (editores); *Understanding GPS: Principles and Applications*; Second Edition; Artech House; 2005.

[4] Y. T. James Bao, *Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A software approach*. Hoboken: John Wiley & Sons., 2005.

[5] Pumpkin incorporated, “CubeSat Kit PCB Specification”, 2003.

[6] H. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*. Hoboken: John Wiley & Sons., 2009.

[7] The SPARC Architecture Manual. SPARC International Inc, 1992.

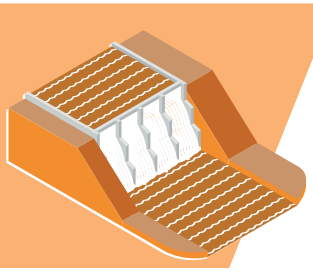
[8] GRLIB IP Library User’s Manual, Cobham, 2018, Version 2018.1.

[9] J. G. Díaz, G. Scillone, J.G. García, “Sistema de adquisición en FPGA para receptores SDR”, 26º Congreso Argentino de Control Automático, AADECA’18, pág. 440-445. Buenos Aires, Argentina, 2018.

[10] J. G. Díaz, P. A. Roncagliolo, J. G. García, “Canal de correlación de adquisición no-coherente GPS/GLONASS”, XV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, RPIC 2013, pág. 445-450. S. C. de Bariloche, Argentina, 2013.

[11] O. Montenbruck, T. Van Helleputte, R. Kroes, E. Gill, “Reduced-dynamic orbit determination using GPS code and carrier measurements”, Aerospace Science and Technology, 9(3), págs. 261-271, 2005.

HIDRÁULICA



AVANCES EN EL PROGRAMA DE MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO: ANÁLISIS DE ESTACIONES DE LA PLATA EN FORMA NO PRESENCIAL

Andrade Macias Foti, Paula[1]; Caruso, Iara S.[1]; Andrada Frau, Federico[2]; Espil Nosa, Francisco[2]; Garat, Fermín I.[2]; y Bianchi, Guillermo J.[3]

[1] Alumnas de PPS de la carrera de Ingeniería Hidráulica, FI-UNLP
[2] Becarios Alumnos del Grupo InfoMET - UIDET Hidrología - Dto. Hidráulica, FI-UNLP
[3] Coordinador Grupo InfoMET - UIDET Hidrología - Dto. Hidráulica, FI-UNLP

UIDET Hidrología, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP Calle 47 N° 200, Piso 1, Oficina 3, La Plata - Tel. 0221-427-5223

contacto.infomet@gmail.com ; guillermo.bianchi@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: PPS, precipitaciones, red hidrometeorológica, La Plata

INTRODUCCIÓN

El trabajo describe experiencias y avances científico-tecnológicos resultantes de las actividades desarrolladas por dos alumnas, en el marco de la Práctica Profesional Supervisada (PPS). Las tareas se realizaron en el segundo semestre del año 2020 bajo la supervisión del grupo InfoMET, perteneciente a la UIDET del área Hidrología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.

El trabajo fue realizado enteramente bajo la modalidad virtual, teniendo como objetivo general dar continuidad a los desarrollos antecedentes del grupo [Ref.1] [Ref.3] y en particular abordar nuevas conclusiones en el análisis de las estaciones existentes en la región de La Plata y sus alrededores relacionado con su problemática hídrica [Ref. 2]. Como experiencia de PPS, permitió la apropiación de conocimientos adquiridos en diagnósticos preliminares sobre la problemática de las redes de medición y al mismo tiempo proyectar nuevas conclusiones en la investigación.

En esta etapa se presenta un diagnóstico preliminar sobre la problemática de la red de medición, su manejo y operatividad. Se analizó un total de 13 estaciones de la región, enfocándonos en su ubicación, sensibilidad e intervalos de tiempos de medición y periodos de análisis de las diferentes variables meteorológicas. Las actividades comprendieron: 1) completamiento de los datos faltantes en las mediciones de la estación meteorológica ubicada en la Facultad de Ingeniería, en base a distintos criterios; 2) determinación de la intermitencia en el funcionamiento de las estaciones empleadas para la actividad de completamiento de datos y 3) relevamiento y análisis cualitativo de la totalidad de las estaciones ubicadas en la ciudad de La Plata.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

1. Completamiento de los datos faltantes

El grupo InfoMET cuenta con una Estación Meteorológica Automática (EMA) marca Davis, modelo Vantage Pro 2. La misma está equipada con un pluviógrafo de cangilones, anemómetro, y sensores de temperatura, humedad, radiación y presión. Está ubicada en la terraza del Departamento de Hidráulica de la Facultad, a una altura aproximada de 2 metros sobre la superficie de la terraza, y a una altura total de aproximadamente 10 metros sobre el nivel del terreno natural.

Por diversos motivos, existen períodos con datos faltantes del registro de esta estación. Estos motivos pueden ser: problemas de software, mantenimiento, falta de memoria de almacenamiento, falla del registrador de datos, falla en la batería, falla en la transmisión, entre otros. Debido al contexto de pandemia producto del virus COVID-19 iniciada en el año 2020, resultó más complejo realizar el seguimiento de la estación y solucionar las fallas que se producían.

El período a completar en este trabajo comprende los días 19 de marzo al 2 de abril del año 2020. El completamiento se realizó tomando como información base algunas de las estaciones meteorológicas ubicadas en puntos cercanos, mediante la metodología de *completamiento por promedios*. Se empleó un intervalo de tiempo de 5 minutos y se analizaron las variables precipitación acumulada, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar y temperatura.

Para llevar a cabo el relleno de información faltante, se empleó la plataforma Weather Underground [Ref. 5] que recopila en una página web la información meteorológica de estaciones de todo el mundo. Es un portal donde cualquier usuario que disponga de una estación meteorológica puede compartir los datos registrados, en tiempo real. Estas estaciones meteorológicas automáticas (EMA, en adelante) es una versión automatizada de las tradicionales estaciones meteorológicas sinópticas manuales, las cuales deben contar con un operador que recopile las diferentes lecturas a intervalos de tiempo definidos.

Las estaciones que se consideraron para la estimación de los datos faltantes fueron: EMA de la Facultad de Informática de la UNLP (ubicada en calle 50 y Av. 120); EMA CK Bosque La Plata (ubicada en calle 57 entre 1 y 2); EMA Parque Castelli (ubicada en calle 65 entre 21 y 22); EMA particular CASA (ubicada en calle 528 bis entre 1 y 2). La estación de la Facultad de Informática es operada por el Laboratorio de Investigación en Nuevas Tecnologías Informáticas (LINTI), mientras que las demás estaciones pertenecen a operarios particulares.

En la figura 1 se muestra la ubicación geográfica de las estaciones existentes en el Partido de La Plata y la ubicación relativa a la estación EMA InfoMET; en verde las EMAs utilizadas para el completamiento y en blanco las analizadas en la etapa 3. A su vez, en línea verde se delimita la cuenca Arroyo del Gato, en rojo la cuenca del Arroyo Jardín Zoológico, en violeta la cuenca del Arroyo Maldonado, y en naranja la cuenca del Arroyo Circunvalación.

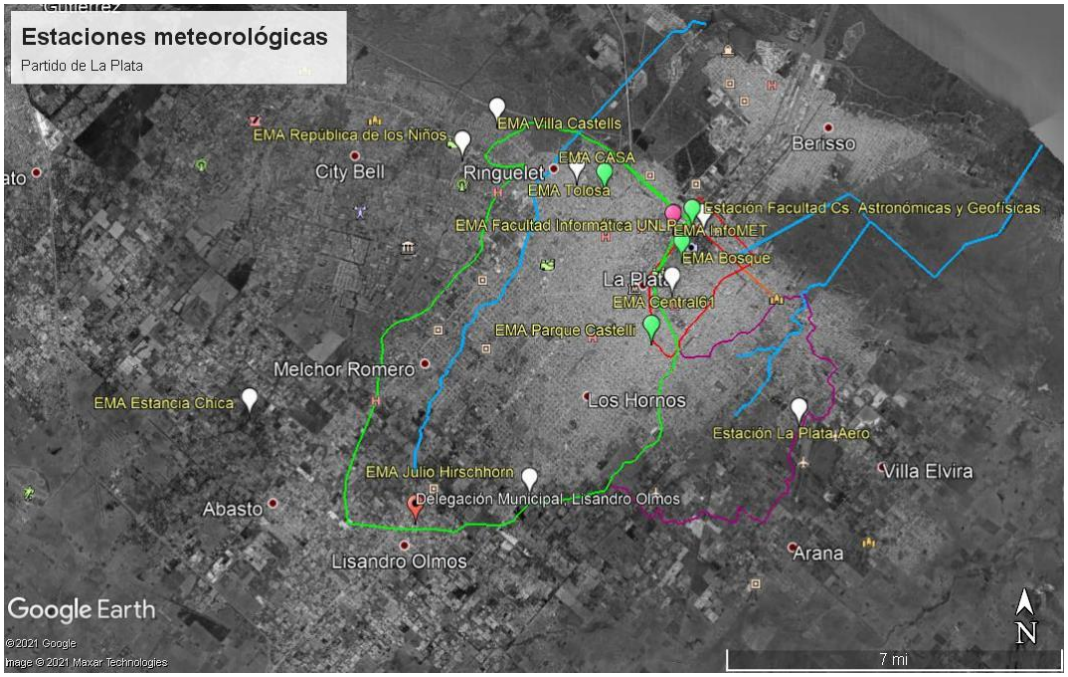


Figura 1: Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas - Fuente: Elaboración propia

Como paso previo al completamiento, se evaluó la confiabilidad de las mediciones proporcionadas por las estaciones, para no tomar como parámetro un dato no representativo del verdadero (proveniente de fallas en la estación, por ejemplo).

Por otra parte, al estar incompletos los registros de algunas variables de las estaciones de referencia, no siempre se realizó el promedio entre todas ellas. Cuando los intervalos faltantes de alguna estación superaban los 5 minutos, se promediaron solo los datos de las estaciones

que contaban con la medición. En el caso de no tener medición en ninguna estación y siendo el intervalo faltante de pequeña magnitud (menos de 15 minutos), se promedió con el dato anterior y posterior al valor faltante.

Para cada variable se tuvieron distintas consideraciones. En el caso de la Presión, las mediciones de cada estación seguían una misma variación durante el día, pero con distinta ordenada al origen dependiendo de la ubicación de la estación. Por lo tanto, se tomó como referencia para el completamiento la medición de la estación más cercana a la estación EMA InfoMET, que corresponde a la EMA de la Facultad de Informática de la UNLP.

Al completar los datos de Precipitación acumulada se le dio más peso al registro de las estaciones más cercanas (EMA de la Facultad de Informática de la UNLP y EMA CK Bosque La Plata), debido a la variabilidad espacial que pueden tener las tormentas. Por lo tanto, se promediaron las mediciones de estas dos estaciones mencionadas.

En cuanto al registro de la Radiación solar, el criterio fue similar al de la Precipitación acumulada, debido a la posible presencia de nubes en la zona y su desarrollo (por los vientos), que influye de forma directa en la medición de la radiación.

En las figuras 2 a 6, se presenta la evolución diaria de las distintas variables obtenidas de la plataforma Weather Underground, así como el resultado del completamiento de la estación EMA InfoMET, para el día 19 de marzo de 2020.

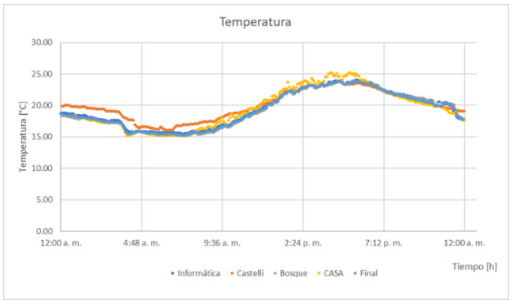


Figura 2: Evolución diaria de temperatura - Fuente: Elaboración propia

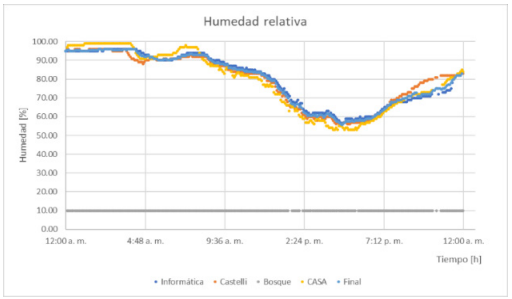


Figura 3: Evolución diaria de humedad relativa – Fuente: Elaboración propia

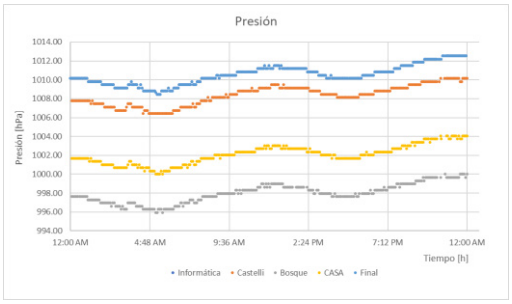


Figura 4: Evolución diaria de presión - Fuente: Elaboración propia

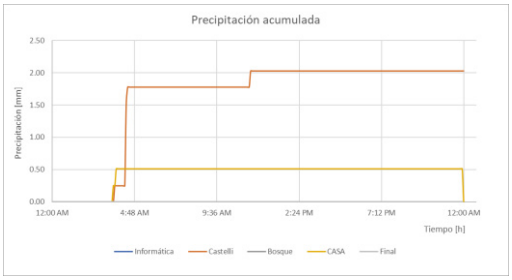


Figura 5: Evolución diaria de precipitación acumulada - Fuente: Elaboración propia

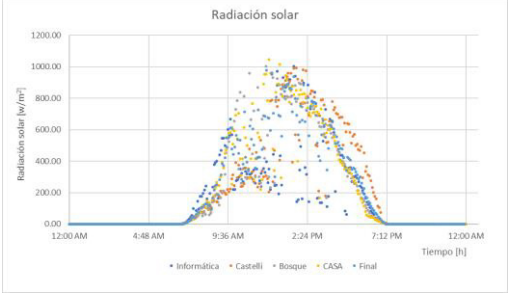


Figura 6: Evolución diaria de radiación solar - Fuente: Elaboración propia

2. Análisis del funcionamiento de las estaciones elegidas

En esta etapa se evaluó en particular si la estación registró medición de las distintas variables, y si esta medición es representativa de la realidad. La estación se considera confiable si la intermitencia no es 'Muy alta' a lo largo de su funcionamiento, y si sus mediciones son coherentes.

Para evaluar la confiabilidad, se calificó cualitativamente la intermitencia de cada estación en base al funcionamiento desde el inicio de su operación. Para esto, se analizó en forma mensual la medición de cada estación de las distintas variables, cuantificando los días sin datos. Se definió así una escala de valores para determinar la calidad de la intermitencia de cada mes en base a la cantidad de días sin datos, que se presenta en la siguiente figura:

Días de intermitencia	0	1 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	más de 20
Grado de intermitencia	Nula	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Escala	0	1	2	3	4	5

Tabla 1 - Escala de valoración de intermitencia Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra una tabla que resume los períodos de funcionamiento de las cuatro estaciones de análisis, en función de la valoración de intermitencia de la Tabla 1.

Estación meterológica	Período de funcionamiento
EMA Facultad de Informática - UNLP	2015: E F M A M J J A S O N D — 2016: E F M A M J J A S O N D — 2017: E F M A M J J A S O N D 2018: E F M A M J J A S O N D — 2019: E F M A M J J A S O N D
EMA CK Bosque La Plata	2017: E F M A M J J A S O N D — 2018: E F M A M J J A S O N D — 2019: E F M A M J J A S O N D
EMA Parque Castelli	2015: E F M A M J J A S O N D — 2016: E F M A M J J A S O N D — 2017: E F M A M J J A S O N D 2018: E F M A M J J A S O N D — 2019: E F M A M J J A S O N D
EMA particular CASA	2019: E F M A M J J A S O N D X

Tabla 2 - Períodos de funcionamiento de las estaciones - Fuente: Elaboración propia

Con base en el análisis de intermitencia realizado, se concluye que la EMA de la Facultad de Informática de la UNLP es confiable, a pesar de que al comienzo de su puesta en operación haya tenido períodos de mayor intermitencia en sus mediciones, ya que en los últimos años la intermitencia se ha reducido en gran medida.

En cuanto a la EMA CK Bosque La Plata, se considera que es confiable en líneas generales dado que su período de mayor intermitencia está concentrado a fines del año 2017, mejorando para los años 2018 y 2019.

La EMA Parque Castelli ha tenido mayor proporción de intermitencia a lo largo de su funcionamiento, especialmente en las variables de Radiación solar, Precipitación y Presión. Su período más crítico fue entre los años 2017 y 2018, "mejorando" el registro en el año 2019. Por lo tanto, la estación se considera confiable.

Por último, a pesar de que la EMA particular CASA comienza a funcionar en el año 2019, la intermitencia es bastante baja, por lo que se considera que es confiable.

3. Relevamiento de las estaciones de la Ciudad de La Plata

En esta etapa se presenta la descripción cualitativa de las estaciones que se encuentran en funcionamiento para el año 2021, distribuidas en la Ciudad de La Plata. Se tomó como referencia para el área de estudio aquellas estaciones que se encuentren instaladas dentro de la cuenca del Arroyo Maldonado, la cuenca del Arroyo del Gato, la cuenca del Arroyo Circunvalación, y la cuenca del Arroyo Jardín Zoológico. Para su trazado, se consideraron como referencia las planchetas del IGN y el "Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada", del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP [Ref.2].

Las estaciones que se encuentran en funcionamiento se obtuvieron de la plataforma Weather Underground. Se relevaron además otras estaciones, cuyas mediciones no las recopila la plataforma mencionada, pero se emplazan en el área de estudio: Estación La Plata AERO [Ref. 6], la Estación de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas [Ref. 4], y EMA Julio Hirschhorn [Ref. 7]. En la figura 1 se representaron las estaciones meteorológicas, ubicadas en las cuencas en el mapa de la Ciudad de La Plata.

A continuación, se observa una tabla que resume las características de las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente, en la Ciudad de La Plata.

Estación Meteorológica	Ubicación	Cuenca	Ubicación en la cuenca	Altitud	Descripción del entorno	Hardware/Software	Variables medidas
EMA Facultad de Informática - UNLP	Calle 50 y Av. 120	Arroyo Jardín Zoológico	Parte baja	20 msnm/7 m sobre TN	La superficie de emplazamiento es urbana. Se encuentra en una zona lindera al bosque, con edificios alrededor. El sitio es poco transitado, y las calles circundantes son de pavimento.	Davis Vantage Pro 2 Plus (Wireless)/Wunderground V1.15 PWS Dec 27 2007	T [°C], P [hPa], H [%], PA [mm], RV [km/h], RS [W/m²]
EMA CK Bosque La Plata	Calle 1 entre 56 y 57 (particular)	Arroyo Jardín Zoológico	Parte media/baja	15 msnm/9 m sobre TN	La superficie de emplazamiento es urbana. Se encuentra en una zona céntrica, y a su lado hay un edificio de mayor altura, lo cual podría dificultar la medición de variables como el viento y la radiación solar.	SD/EasyWeatherV1.1.4	T [°C], P [hPa], H [%], PA [mm], V [km/h], RV [km/h], RS [W/m²], PR [°C], IUV
EMA Parque Castelli	Calle 65 entre 21 y 22 (particular)	Arroyo del Gato	Parte media	20 msnm/9 m sobre TN	La superficie de emplazamiento es urbana. La estación está rodeada de casas de mayor altura, con calles de pavimento. No se encuentra arboleda cercana.	Fine Offset WH1081/Custom+rlt_433	T [°C], P [hPa], H [%], PA [mm], V [km/h], RV [km/h], RS [W/m²], PR [°C]
EMA particular CASA	Calle 528 bis entre 1 y 2 (particular)	Arroyo del Gato	Parte baja	12 msnm/9 m sobre TN	La superficie de emplazamiento es urbana. A su alrededor posee árboles cercanos, y no se observan edificios de gran altura cercanos. En frente hay una plaza, y las vías del tren al lado.	SD/EasyWeatherV1.3.1	T [°C], P [hPa], H [%], PA [mm], V [km/h], RV [km/h], RS [W/m²], PR [°C], IUV
EMA Tolosa	Calle 522 entre 4 y 5 (particular)	Arroyo del Gato	Parte baja	19 msnm/SD	La superficie de emplazamiento es urbana. No se observan muchos árboles ni edificios de gran altura en los alrededores de la estación.	SD/SD	T [°C], P [hPa], H [%], PA [mm], V [km/h], RV [km/h], RS [W/m²], PR [°C], IUV
EMA Central 61	Calle 61 entre 9 y 10 (particular)	Arroyo Jardín Zoológico	Parte alta	SD/7 m sobre TN	La superficie de emplazamiento es urbana. A su alrededor existen árboles y edificios de gran altura.	SD/EasyWeatherV1.4.6	T [°C], P [hPa], H [%], PA [mm], V [km/h], RV [km/h], RS [W/m²], PR [°C], IUV
EMA Villa Castells	Calle 499 entre 4 y 6 (particular)	-	-	SD/4 m sobre TN	La superficie de emplazamiento es suburbana. A su alrededor no se aprecian edificios de gran altura ni viviendas, y existen algunos árboles cercanos.	Clima Ambiental WS-2902/AMBWeatherV3.0.3	T [°C], P [hPa], H [%], PA [mm], V [km/h], RV [km/h], RS [W/m²], PR [°C], IUV
EMA Estancia Chica	Calle 498 y RP36	Arroyo de los Rodríguez	-	28 msnm/SD	La superficie de emplazamiento es suburbana. El predio es arbolado, sin casas ni edificios de gran altura en las cercanías de la estación.	Clima Ambiental WS-2902/SD	T [°C], P [hPa], H [%], PA [mm], V [km/h], RV [km/h], RS [W/m²], PR [°C], IUV
EMA República de los Niños	Calle 496 entre 15 bis y 16 (particular)	-	-	SD/3 m sobre TN	La superficie de emplazamiento es suburbana. Está en una zona arbolada, con casas de baja altura alrededor. Se encuentra frente a la República de los Niños.	SD/EasyWeatherV1.2.2	T [°C], P [hPa], H [%], PA [mm], V [km/h], RV [km/h], RS [W/m²], PR [°C], IUV
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas	Av. 120 y calle 52	Arroyo Jardín Zoológico	Parte alta	SD/1.5 m sobre TN	La superficie de emplazamiento es urbana. Se encuentra en el Paseo del Bosque, con muchos árboles y pocos edificios a su alrededor.	Davis/SD	T [°C], P [hPa], H [%], PA [mm], V [km/h], RV [km/h], RS [W/m²], PR [°C], IUV, ST [°C]
Estación convencional La Plata AERO	Calle 610 y Av. 13	Arroyo Maldonado	Parte media	21 msnm/SD	La superficie de emplazamiento es suburbana. La estación está ubicada en una zona descampada, con árboles y casas bajas a su alrededor.	SD/SD	T [°C], P [hPa], PA [mm], V [km/h], Vis [m]
EMA experimental Julio Hirschhorn	Av. 66 y calle 167	Arroyo del Gato	Parte alta	25 msnm/SD	La superficie de emplazamiento es rural. La zona es arbolada, sin edificios de gran altura cerca y mucho espacio libre.	Davis Perception II/SD	T [°C], H [%], PA [mm], RS [W/m²]

(*) SD= Sin Datos.

(**) T= Temperatura; P= Presión; H= Humedad; PA= Precipitación acumulada; RV= Ráfaga de viento; RS= Radiación solar; PR= Punto de rocío; IUV= Índice UV; V= Viento; ST= Sensación térmica; Vis= Visibilidad.

CONCLUSIONES

La presente experiencia de PPS mediante prácticas de teletrabajo ha sido exitosamente desarrollada pese a los inconvenientes que implica asumir un manejo a distancia de las redes de monitoreo hidrometeorológico.
Se han aplicado técnicas para detectar datos faltantes en una estación de la región de la Plata. Las comparativas de las variables temporales han permitido la detección de anomalías en los de sistemas de medición.

Mediante el análisis de la marcha de cada variable se extrajeron conclusiones, no solo en cuanto a la calidad de los datos, sino también del comportamiento integral de patrón hidrometeorológico registrado.

En el marco del trabajo a distancia, el relevamiento realizado de las estaciones permitió describir en forma cualitativa el emplazamiento y las características técnicas de cada una, logrando perfeccionar y anticipar una parte de los chequeos a campo futuros.

Se puede establecer preliminarmente que la información disponible es suficientemente variada pero no siempre confiable, ya que se trata de datos de estaciones que no están normalizadas ni homologadas de acuerdo con las exigencias mínimas de instalación y operación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Jornadas ITE, (2017). ***"Propuesta para la implementación de un programa de extensión aplicado al monitoreo hidrológico"*** UIDET Hidrología. Bianchi G., Fernández, G., Garat, F., García, A.
[2] Departamento de Hidráulica, (2013). ***"Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada"***. Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP. Bianchi. G., colaboración estudios hidrológicos, La Plata.
[3] Jornadas ITE, (2019). ***"Evaluación de la representatividad espacial de las estaciones"*** UIDET Hidrología. Fernández, G., Garat, F., García, A. Espil Nosa, F. y Bianchi G.
[4] Información meteorológica de la Estación Meteorológica Automática La Plata Observatorio. https://www.fcaglp.unlp.edu.ar/informacion_meteorologica.
[5] Pronóstico Local de Weather Underground. https://www.wunderground.com.
[6] Información profesional de las condiciones meteorológicas en todo el mundo. http://www.ogimet.com.
[7] Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP (2017). ***"Estación experimental Ing. Agr. Julio Hirschhorn - Trabajos de docencia, investigación y extensión"***.

AVANCES EN EL PROGRAMA DE MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO: PROPUESTA DE MEJORA DE LA RED PLUVIOMÉTRICA DE LA PLATA

Andrade Macias Foti, Paula[1]; Caruso, Iara S.[1]; Andrada Frau, Federico[2]; Espil Nosa, Francisco[2]; Garat, Fermín I.[2]; y Bianchi, Guillermo J.[3]

[1] Alumnas de PPS de la carrera de Ingeniería Hidráulica, FI-UNLP
[2] Becarios Alumnos del Grupo InfoMET - UIDET Hidrología - Dto. Hidráulica, FI-UNLP
[3] Coordinador Grupo InfoMET - UIDET Hidrología - Dto. Hidráulica, FI-UNLP

UIDET Hidrología, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP Calle 47 N° 200, Piso 1, Oficina 3, La Plata - Tel. 0221-427-5223

contacto.infomet@gmail.com ; guillermo.bianchi@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: PPS, precipitaciones, red hidrometeorológica, La Plata

INTRODUCCIÓN

El trabajo describe experiencias y avances científico-tecnológicos resultantes de las actividades desarrolladas por dos alumnas, en el marco de la Práctica Profesional Supervisada (PPS). Las tareas se realizaron en el segundo semestre del año 2020 bajo la supervisión del grupo InfoMET, perteneciente a la UIDET del área Hidrología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.

El trabajo fue realizado enteramente bajo la modalidad virtual, teniendo como objetivo general dar continuidad a los desarrollos antecedentes del grupo [Ref.1] [Ref.3] y en particular abordar nuevas conclusiones en el análisis de las estaciones existentes en la región de La Plata y sus alrededores relacionado con su problemática hídrica [Ref. 2]. Como experiencia de PPS, permitió la apropiación de conocimientos adquiridos en diagnósticos preliminares sobre la problemática de las redes de medición y al mismo tiempo proyectar nuevas conclusiones en la investigación.

La actividad desarrollada aquí tiene que ver con la continuación del trabajo “AVANCES EN EL PROGRAMA DE MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO: ANÁLISIS DE ESTACIONES DE LA PLATA EN FORMA NO PRESENCIAL”; esta etapa comprende el análisis de la distribución espacial de las estaciones existentes en la región de La Plata y Gran La Plata, con el fin de proponer la ubicación de una nueva estación meteorológica.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

En esta etapa se analizó la distribución y densidad espacial de las estaciones meteorológicas existentes en la Ciudad de La Plata, con el fin de determinar qué zonas quedan desprovistas de registros. Con base en los criterios de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se propone la ubicación de nuevas estaciones donde se consideren necesarias.

La OMM tiene como principal finalidad facilitar la cooperación mundial para crear redes de estaciones que efectúen observaciones meteorológicas, para favorecer la creación y el mantenimiento de centros encargados de prestar servicios meteorológicos. Se encarga también de fomentar la normalización de las observaciones meteorológicas y de asegurar la publicación uniforme de estas observaciones y estadísticas.

Para normalizar las prácticas y procedimientos meteorológicos, el Congreso Meteorológico Mundial adopta disposiciones integradas en un Reglamento Técnico. En él se estipulan los métodos y procedimientos meteorológicos que los países Miembros de la Organización deben aplicar. Los criterios para toda red de observación propuestos por la Guía del Sistema Mundial de Observación de la OMM son los siguientes: a) el emplazamiento de cada estación debe ser representativo de las condiciones existentes tanto en el espacio como en el tiempo; b) la separación de las estaciones y los intervalos entre las observaciones deben corresponder con

la resolución espacial y temporal deseada de las variables meteorológicas que han de medirse u observarse; y c) el número total de estaciones debe, por razones de economía, ser tan pequeño como sea posible, pero tan grande como se precise para satisfacer las distintas necesidades.

En teoría, las diferentes propiedades de una masa de aire deben ser observadas en una estación dentro de un área lo más pequeña posible, aunque los instrumentos deben estar instalados de tal modo que no afecten recíprocamente a sus correspondientes mediciones. Al elegir el emplazamiento adecuado de una estación se pretende obtener datos que sean representativos de un área mayor. Un punto perfecto, en lo que respecta al tiempo, exigiría que todas las mediciones y observaciones visuales en todas las estaciones se efectuasen en el mismo momento. No obstante, como no es posible efectuar todas las medidas simultáneamente en cada estación, esto se hará dentro del período de tiempo más corto posible [Ref. 4].

La separación entre las estaciones debe permitir obtener valores precisos de las variables meteorológicas requeridas en cualquier punto entre dos estaciones, a partir de una interpolación visual o numérica. Debe tenerse en cuenta también el efecto de la topográfica sobre las variables que se analicen. Además, se debe considerar la densidad de la red, dado que, si es muy densa o tiene gran frecuencia de observaciones, se obtienen más datos de los requeridos, elevando los gastos de forma innecesaria.

Con base en el análisis del potencial de las estaciones existentes [Ref.3], se determina el área de representatividad de cada estación. Esta es la zona en la que se consideran admisibles las mediciones de la estación, más allá de su punto de emplazamiento. En el informe mencionado se desarrolla el “Método del Coeficiente de correlación/distancia”, en el que se encuentra la tendencia entre la distancia entre las estaciones y el coeficiente de correlación para eventos de precipitación medidos entre 2017 y 2018.

El método propone que, para obtener una buena representatividad de los parámetros, es necesario que el coeficiente de correlación sea del 90% y de esta forma, garantizar una buena descripción de los eventos. En la figura 1 se observa el ajuste obtenido.

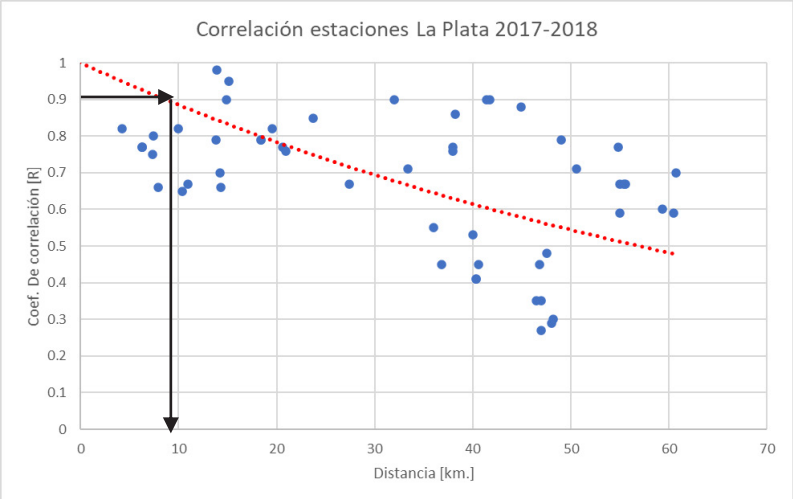


Figura 1: Ajuste de valores de R - Fuente: Grupo InfoMET

Se puede interceptar la línea de tendencia, en trazado punteado rojo, con un valor de Correlación de R=0.9. Se obtiene así que la distancia mínima entre estaciones debería ser aproximadamente de 10 km, por lo que es válido admitir un área de representatividad de cada estación de una circunferencia de radio igual a 5 km.

En la figura 2 se observa en color amarillo el perímetro del área de representatividad de las estaciones analizadas.

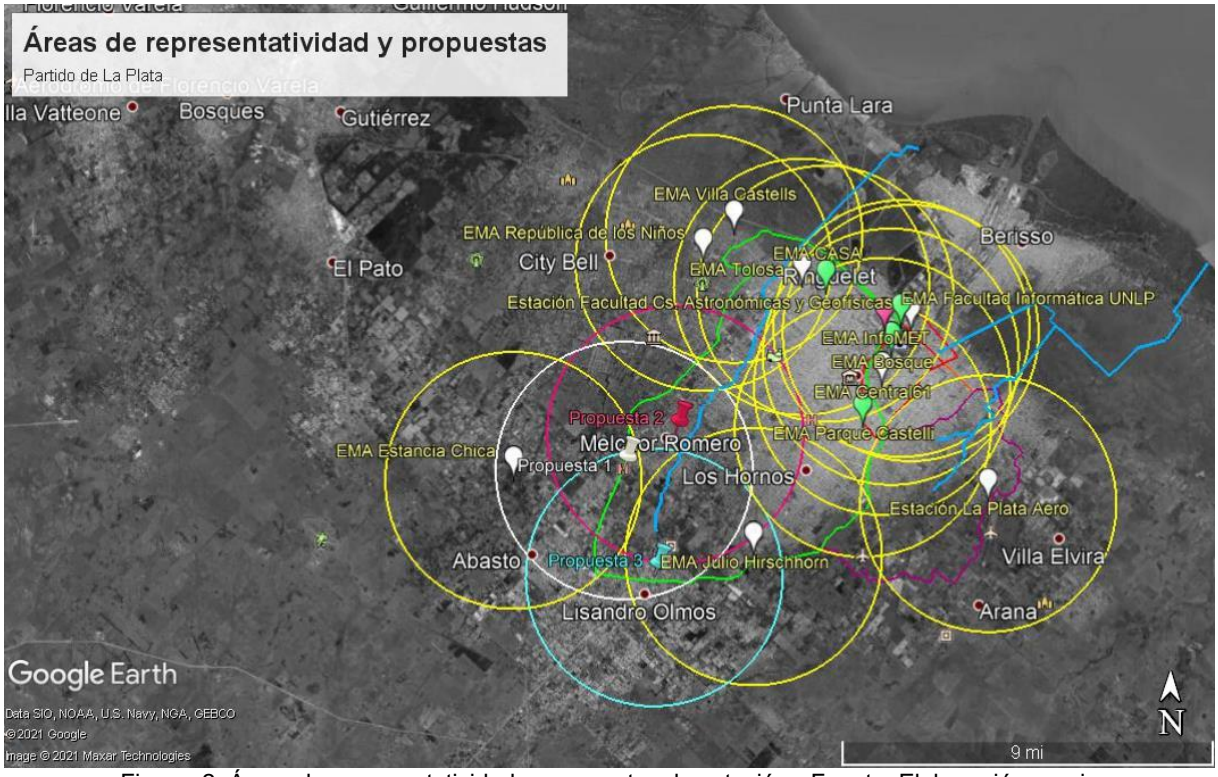


Figura 2: Áreas de representatividad y propuestas de estación - Fuente: Elaboración propia

Se puede destacar que en la parte baja de las cuencas hay mayor densidad de estaciones meteorológicas, que coincide con las zonas urbanas del Partido de La Plata. Por lo tanto, se podría concluir que los sectores periurbanos o rurales cuentan con escasez de información. De esta forma, las áreas de interés para propuestas de nuevas estaciones serían las zonas altas de las cuencas.

También es recomendable para la ubicación definitiva de las propuestas de nuevas estaciones que el sitio de emplazamiento sea un terreno de propiedad pública o gubernamental. Esto disminuiría la posibilidad de que la estación tenga que desplazarse. Además, el sitio sería más seguro, lo que significaría menor riesgo de robo o vandalismo de la nueva estación, evitando que se desperdicie la inversión.

Propuesta 1

En esta propuesta se plantea ubicar una nueva estación en la zona alta de la cuenca del Arroyo del Gato, cubriendo las cercanías de Melchor Romero. Se puede observar la ubicación de la propuesta en la figura 2, en color blanco.

La Propuesta 1 está ubicada en la terraza del Hospital Interzonal Dr. Alejandro Korn, en Av. 520 entre calles 174 y 179. Al tratarse de un hospital público, el terreno pertenece al Estado, lo que sería favorable para el emplazamiento.

El edificio se encuentra sobre la Av. 520, que es muy transitada. Sin embargo, las demás calles que lo rodean son menos concurridas. En las cercanías del hospital existen árboles tupidos, pero no parece que pudieran interferir con las mediciones de la estación, dado que se encuentran alejados. Teniendo en cuenta el desarrollo de los techos del hospital, se ubicaría la estación en el sector más plano, para una mayor accesibilidad tanto de instalación como de mantenimiento.

Al ubicar la estación en un hospital, se garantizaría el acceso a energía eléctrica y agua corriente, si se necesitara. Por otro lado, dado que es posible que el hospital cuente con un pararrayos, podría no ser necesario adoptar mayores medidas de seguridad para proteger la

estación contra rayos. El robo y el vandalismo de la estación se podría prevenir restringiendo el acceso a los techos del hospital.

El emplazamiento resultaría representativo de los datos meteorológicos requeridos, debido a que el área de representatividad de la estación cubre la porción de la cuenca con faltante de registros. Esta representatividad podría considerarse perdurable en el tiempo, ya que el hospital se encuentra en funcionamiento hace años. En caso de alguna ampliación o modificación de su infraestructura, se debería tener en cuenta la existencia de la estación, y planificar su reubicación o remoción temporal si fuera necesario. Un cambio de vegetación no sería perjudicial para el registro, ya que la estación se encontraría en un punto relativamente alto. Sin embargo, se debería recurrir a la poda de los árboles en el caso de que su altura interfiera con las mediciones, y planificar las nuevas plantaciones que se fueran a realizar de forma tal que no se ubiquen grandes árboles cerca de la estación.

Propuesta 2

Otra alternativa para el emplazamiento de una nueva estación meteorológica es la Escuela de Educación Primaria N°13 Martín Fierro, ubicada en calle 524, entre 158 y 159, en la localidad de Melchor Romero. Esta edificación es de propiedad estatal, lo cual resultaría beneficioso para el emplazamiento de la estación.

En la figura 2 se observa en color rosa la ubicación geográfica junto con el área de representatividad de la propuesta.

El edificio se encuentra en una zona barrial, por lo que se podría inferir que el tránsito es reducido. Existen árboles en las cercanías, pero se emplazaría la estación en el techo de la escuela, que posee un primer piso. Por lo tanto, sería poco probable que la vegetación interfiera con los registros. Se garantizaría la accesibilidad a la estación para la instalación y mantenimiento, buscando no interrumpir la actividad cotidiana del establecimiento.

Al ubicar la estación en una escuela pública, se garantizaría el acceso a energía eléctrica y agua corriente, si fuera necesario. El robo y el vandalismo de la estación durante el día no sería probable, sin embargo, en horarios nocturnos esta no estaría tan protegida como en el caso del hospital, en la propuesta 1.

El emplazamiento resultaría representativo de los datos meteorológicos requeridos, debido a que el área de representatividad de la estación cubre la porción de la cuenca con faltante de registros. Esta representatividad sería perdurable en el tiempo, ya que la escuela funciona permanentemente. En caso de alguna ampliación o modificación de su infraestructura, se debería tener en cuenta la existencia de la estación, y planificar su reubicación o remoción temporal si fuera necesario.

Como punto destacable de esta propuesta se menciona que ubicar una estación meteorológica en una Escuela generaría la posibilidad de enseñar a alumnos sobre cuestiones hidrológicas y el manejo y operatividad de una estación meteorológica. Se podrían generar proyectos, en los que los estudiantes interactúen con la estación en el proceso de recopilación de datos, sin perder de vista el cuidado y la importancia a nivel social que tienen estas prácticas.

Propuesta 3

La propuesta 3 corresponde a la Delegación Municipal N°3 Lisandro Olmos, ubicada en Ruta Provincial 36 y calle 47. En la figura 2 se puede observar su ubicación y su área de representatividad, en color celeste.

Se trata de un edificio de propiedad pública, y su ubicación permitiría aumentar la densidad de estaciones en la zona alta de la cuenca del Arroyo del Gato. El techo de la Delegación no es de gran altura, y la estación no se encontraría rodeada de árboles muy altos ni tupidos.

Al encontrarse sobre la Ruta Provincial N° 36, la estación estaría ubicada en una zona transitada por los vehículos. Sin embargo, como se trata de un área periurbana, el tránsito peatonal es menor que en lugares urbanos. Esto podría significar menor seguridad ante el robo y el vandalismo. En cuanto a la accesibilidad, como la Delegación tiene poco flujo de personal, podría resultar más sencillo la instalación y el mantenimiento de la estación meteorológica.

El emplazamiento resultaría representativo de los datos meteorológicos requeridos, debido a que el área de representatividad de la estación se complementaría con las estaciones de la parte alta de la cuenca, que tiene escasez de registros. En caso de alguna ampliación o modificación de la infraestructura, se debería tener en cuenta la existencia de la estación, y planificar su reubicación si fuera necesario.

Análisis comparativo

Como última instancia, se busca definir la propuesta óptima. Esto se llevó a cabo mediante la confección de una Matriz de Comparación de Alternativas, en la que se propusieron distintos puntos de comparación, para valorar las propuestas y obtener su jerarquización.

Los criterios que se consideraron fueron los siguientes: seguridad ante robo y vandalismo; accesibilidad para instalación y mantenimiento; e interferencia con vegetación.

Para la valoración, se tomó una escala de 1 a 3, siendo menos favorable la propuesta que obtenga menor puntaje. De esta forma, la valoración resulta:

Valoración / Criterio	1	2	3
Seguridad ante robo y vandalismo	Seguridad baja	Seguridad media	Seguridad alta
Accesibilidad para instalación y mantenimiento	Accesibilidad baja	Accesibilidad media	Accesibilidad alta
Interferencia con vegetación	Interferencia alta	Interferencia media	Interferencia baja

Tabla 1: Valoración de criterios - Fuente: Elaboración propia

Se considera que los tres criterios tienen igual peso a la hora de la valoración. Con base en lo descripto en los puntos anteriores, la Matriz de Comparación de Alternativas resulta:

Criterios	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Seguridad ante robo y vandalismo	3	2	1
Accesibilidad para instalación y mantenimiento	2	2	3
Interferancia con vegetación	3	2	2
Puntaje total:	8	6	6

Tabla 2: Matriz de Comparación de Alternativas - Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la propuesta más conveniente sería la correspondiente a la estación ubicada en el Hospital Interzonal Dr. Alejandro Korn, que obtuvo el mayor puntaje en el análisis realizado.

CONCLUSIONES

La presente experiencia de la PPS mediante prácticas de teletrabajo ha sido exitosamente desarrollada pese a los inconvenientes que implica asumir un manejo a distancia de las redes de monitoreo hidrológico.

Se puede establecer que la información disponible es suficientemente variada pero no siempre confiable, ya que se trata de datos de estaciones que no están normalizadas ni homologadas de acuerdo con las exigencias mínimas de instalación y operación.

Se replicaron metodologías antecedentes para analizar la distribución espacial de las estaciones en la región. Se verificó que la separación y distribución de las estaciones presenta mayor concentración en los sectores urbanos, y baja densidad en las nacientes de cada subcuenca.

A pesar de las restricciones impuestas en el contexto de pandemia, mediante el trabajo a distancia fue posible el planteo de tres propuestas de emplazamiento, para finalmente desarrollar un estudio comparativo y determinar la alternativa más conveniente buscando optimizar la red pluviométrica existente.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Jornadas ITE, (2017). ***"Propuesta para la implementación de un programa de extensión aplicado al monitoreo hidrológico"***. UIDET Hidrología. Bianchi G., Fernández, G., Garat, F., García, A.
[2] Departamento de Hidráulica, (2013). ***"Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada"***. Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP. Bianchi. G., colaboración estudios hidrológicos, La Plata.
[3] Jornadas ITE, (2019). ***"Evaluación de la representatividad espacial de las estaciones"***. UIDET Hidrología. Fernández, G., Garat, F., García, A., Espil Nosa, F. y Bianchi G.
[4] Organización Meteorológica Mundial - OMM N°488 (2017). ***"Guía del Sistema Mundial de Observación".***

FORTALECIMIENTO DE COOPERATIVAS PRODUCTIVAS PROYECTO DE EXTENSIÓN EN EL CONTEXTO DE LA PANDEMIA DE COVID 19

Arturi Tatiana S., Berardozzi, Eliana, Ricci Julián A.

Departamento de Hidraulica, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. 1 y 47 - (1900) La Plata, Argentina. E-mail: tatiana.arturi@ing.unlp.com.

RESUMEN

El proyecto de extensión “Fortalecimiento a cooperativas productivas: procesos y ambiente” busca desde 2019 colaborar en la consolidación de la Cooperativa Aceitera La Matanza identificando y definiendo junto con los asociados, los procedimientos para la correcta gestión de efluentes líquidos y redes pluviales para cumplir con la normativa ambiental de la cuenca Matanza Riachuelo y promover la protección del medio ambiente. En tiempos de pandemia y aislamiento social, se presenta el desafío de repensar estrategias y resignificar el trabajo con la comunidad, como la consolidación de organizaciones de economía social para evitar la pérdida de fuentes de trabajo.

La masiva implementación de diferentes medios de comunicación en el contexto laboral del aislamiento social, preventivo y obligatorio permitió establecer un dialogo frecuente con los cooperativistas, facilitando un seguimiento adecuado de los objetivos planteados previamente en el proyecto y transmitiendo cercanía ante las dificultades detectadas.

Palabras claves: Extensión, cooperativa, efluentes industriales

1. INTRODUCCIÓN

En un contexto de recesión económica, muchas empresas se ven obligadas a “cerrar sus puertas” ya sea porque no llegan al nivel de ganancias pretendidas, porque los costos de mantenimiento son muy altos, o por diferentes razones, lo cierto es que en todos los casos se pierden puestos de trabajo, dejando a familias enteras sin sustento (Blinder, 2017). En muchos de estos casos, los empleados se organizan para la defensa de sus puestos de trabajo. Las Cooperativas de trabajadores de empresas recuperadas, se organizan sobre una empresa ya existente y que, por problemas externos (cambios en la política macroeconómica por parte del estado) o por problemas internos (mala gestión, desinterés de los dueños, conflictos gremiales, obsolescencia tecnológica), entra en un proceso de descapitalización, pérdida de clientes e insolvencia financiera. En este caso, la ley prevé la organización Cooperativa a los efectos de preservar la empresa para que no pierda su valor de mercado y fuentes de trabajo (Fontenla, 2008).

Ante el cierre de la aceitera Agroindustria Madero SA, los empleados formaron una Cooperativa de trabajo y alquilaron las instalaciones de la empresa para continuar produciendo bajo en nombre de “Cooperativa de Trabajo Aceitera La Matanza Ltda”.La actividad productiva actual de la Cooperativa consiste en el procesamiento de la materia prima a fason, explotando los procesos de extracción y refino de aceite. El producto principal que obtiene la Cooperativa es el aceite vegetal refinado, además de productos secundarios como borras de jabón y pellet de maíz.

La empresa, antes del retiro de los dueños, ya se encontraba en estado de falta de mantenimiento de las instalaciones. En condiciones económicas poco favorables, relegó operaciones no lucrativas, descuidando principalmente operaciones o controles que hacen a

la preservación ambiental. La fábrica cuenta con instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales originadas por el proceso productivo, que poseen un elevado contenido oleoso. Estos vertidos generados podrían ocasionar deterioro del medio ambiente, si no reciben el tratamiento adecuado (Metcalf y Eddy, 2003; Reyes-Yola y Altarriba-Mustelier, 2011).

A pesar de un visible compromiso por parte de la Cooperativa para cuidar el ambiente y cumplir las exigencias de los organismos de control, las aguas residuales generadas tratadas en muchas oportunidades se encontraban fuera de los parámetros reglamentados y las instalaciones de desagües pluviales poseían varios desperfectos. Es por ello que la Autoridad de Cuenta Matanza Riachuelo (ACUMAR) clausuró preventivamente la fábrica, poniendo en peligro una vez más los puestos laborales.

Durante el año 2019, en el Marco de la Actividad de Extensión "La correcta operación hace al buen proceso y a la protección de los recursos hídricos" el grupo de trabajo de la Facultad de Ingeniería de la UNLP acompañó a la cooperativa en la implementación de medidas urgentes para lograr el levantamiento de la clausura que fue concretado en Julio de ese año.

El proyecto de extensión "Fortalecimiento a cooperativas productivas: procesos y ambiente" es una continuidad de la actividad de extensión que comenzó en el año 2019 y busca consolidar a la Cooperativa identificando y definiendo junto con los asociados, los procedimientos para la correcta gestión de efluentes líquidos y redes pluviales. Se pretende que la Cooperativa sea sostenible para permitir el desarrollo de la comunidad a través de la continuidad de las fuentes laborales y de la protección del medio ambiente.

A partir de la situación disruptiva, en la que nos colocó la pandemia del Covid-19, se asumió el desafío institucional de continuar acompañando a la Cooperativa, adecuando el proyecto a los nuevos requerimientos, e implementando propuestas mayormente realizables de manera virtual. En este contexto surge también la necesidad de destacar el trabajo en comunidad y la consolidación de organizaciones de economía social para evitar la pérdida de fuentes de trabajo. Las Cooperativas constituyen un mecanismo ideal para dar respuesta a las necesidades sociales emergentes con su organización y mantener una relación laboral estable; estando en condiciones de atender los desafíos actuales como ser desempleo, desigualdad social y pobreza, en forma conjunta (García, 2018) de una economía globalizada, posibilitando a sus asociados desarrollar fuertes vínculos

2. METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló a partir de encuentros quincenales los días miércoles de 17 a 19 h de manera virtual donde participaron tanto los miembros de la cooperativa ligados directamente o indirectamente al área ambiental como nuestro grupo de trabajo de la Facultad de Ingeniería. Durante los encuentros se realizaron talleres donde se abordaron distintos temas relacionados al proceso de tratamiento de efluentes. Estos talleres se establecieron bajo el concepto interacción de doble vía donde se discutieron las limitaciones o inconvenientes a la hora de implementar modificaciones y se buscaron soluciones en conjunto.

Las actividades de taller se planearon en dos etapas: una vez planeados los aspectos teóricos relacionados a cada tema y abordadas sus dificultades, se propusieron tareas de experimentación y verificación en planta o medición de parámetros con el fin de generar una

retroalimentación en los saberes y la apropiación. Asimismo, los temas a abordar en cada taller fueron programados semana a semana según las observaciones realizadas y las dificultades percibidas en el taller anterior.

Cuando fue apropiado se retomaron las visitas a planta, cumpliendo con protocolos de seguridad e higiene que posee la cooperativa adaptados a la situación epidemiológica actual.

3. RESULTADOS

Se planteó, como objetivo de los encuentros, lograr, a través de un programa de capacitación adaptado a las necesidades detectadas, que los participantes puedan ser capaces de ampliar y desarrollar nuevas competencias en la operación, control y seguimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. Antes de comenzar con el primer taller de capacitación, se trató de atender las necesidades y singularidades de cada participante, con relación a la disponibilidad de horarios y el acceso a herramientas para los encuentros virtuales. Se habilito un sector en la cooperativa con acceso a internet y proyector (Figura 1) y se acordó un día y horario para los talleres.





Figura 1. Imágenes de los encuentros virtuales realizados junto a los cooperativistas.

Participaron de los talleres todos los miembros de la cooperativa ligados directamente o indirectamente al área ambiental. Si bien, estas personas realizan diferentes tareas dentro de la cooperativa y poseen diferente formación, se intentó detectar en los primeros encuentros las inquietudes y necesidades sobre las que pudiéramos trabajar e interactuar.

Sé realizó en el primer taller una introducción sobre dificultades típicas de la operación de plantas. A partir de este punto, surgió un primer eje de reflexión sobre los principales inconvenientes que los operarios de la planta percibían. Como resultado de esta experiencia se decidió replantear la temática propuesta de los talleres y se adaptó a las inquietudes que fueron surgiendo. Los temas a abordar se centraron en los principios básicos de funcionamiento de la planta de tratamiento, en los procesos que intervienen y los errores de manejo más frecuentes. La temática de cada taller fue programado semana a semana según las dificultades percibidas en el taller anterior.

Los siguientes encuentros consistieron principalmente en capacitaciones para identificar los componentes del sistema de tratamiento, que función tenía cada uno de ellos, cuáles eran los parámetros que podían afectar el desempeño del sistema y qué medidas se podrían implementar para mejorar el tratamiento. Los contenidos se intentaron exponer de la forma más clara, concisa, amena y motivadora posible, con vocabulario sencillo y directo. Otro punto que analizamos fue como contribuir en la mejora de la organización del trabajo y gestión de los recursos, y de generar procesos de autogestión y autonomía; para lo cual, se propiciaron debates sobre su propia experiencia en la formación organizativa de la cooperativa, la división del trabajo, la toma de decisiones, los niveles de participación y la gestión de los recursos, entre otros (Véliz y De León, 2015).

Como se mencionó previamente en los talleres se propusieron tareas de experimentación y verificación en planta para luego analizar los resultados. Algunas mejoras propuestas no condujeron a los resultados deseados lo que sirvió para discutir sobre cuales podían ser las razones, generando una interacción de doble vía donde los cooperativistas y los participantes del proyecto de extensión generaron nuevos saberes.

A medida que transcurrían los talleres quincenales los cooperativistas se fueron involucrando poco a poco en la actividad, sintiéndose cada vez más motivados y acompañados, lo que condujo a que comenzaran a idear ajustes en la operación de la planta de tratamiento y a proponer mejoras hasta lograr la implementación de medidas que condujeron a lograr los objetivos perseguidos.

Los encuentros quincenales virtuales generaron un medio adecuado para dar continuidad al proyecto de extensión planteado. Las actividades de acompañamiento virtual no solamente permitieron realizar talleres de capacitación, sino que aportaron un entorno donde al reducirse las distancia crearon un ambiente motivador, de interés y compromiso (Cáceres-Piñaloza, 2020).

4. CONCLUSIONES

El entorno virtual permitió acortar las limitaciones espacio-temporales y dar continuidad a las actividades encaradas previamente para cumplir con los objetivos planteados. A través de los talleres grupales quincenales se crearon situaciones de transferencia e integración de aprendizajes. Estas permitieron a los cooperativistas, por un lado, comenzaron a idear ajustes en la operación de la planta de tratamiento para proponer mejoras hasta lograr una adecuada gestión de las aguas residuales industriales. Por otro lado, a los integrantes de nuestro grupo de trabajo conocer cuáles son las principales ventajas y limitaciones en una cooperativa de trabajo a la hora de tomar decisiones e implementar soluciones en planta, ya sea tanto desde el punto de vista técnico como relacionado a los recursos humanos.

5. BIBLIOGRAFIA

Blinder, D. (2017). Argentina en el espacio: política internacional en relación a la política tecnológica y el desarrollo industrial. Revista de relaciones internacionales, estrategia y seguridad, 12(1), 159-183.

Cáceres-Piñaloza, K. F. (2020). Educación virtual: Creando espacios afectivos, de convivencia y aprendizaje en tiempos de COVID-19. CienciAmérica, 9(2), 38-44.

Fontenla, E. H. (2008). Cooperativas que recuperan empresas y fábricas en crisis.
Nápoli, A. y García Espil, J. (2011). Riachuelo. Hacer hoy pensando en la Cuenca del Mañana. EnInforme ambiental anual, 177-208.

Garcia, L. I. (2018). Las cooperativas implementadas por el Estado para generar puestos de trabajo en Argentina.

Metcalf L. y Eddy H. P. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse.
Reyes-Yola, O. y Altarriba-Mustelier, Y. (2011). Modificación tecnológica de la instalación de tratamiento de las aguas residuales de la refinería de aceite vegetal “ERASOL". Tecnología Química, 31(1), 111-124.

Véliz, Y. B. y de León, I. M. (2015). Implementación de la estrategia de formación y capacitación en la unidad básica de producción cooperativa “El mango”. Cooperativismo y Desarrollo: COODES, 3(2), 4.

BANCO DE PRUEBAS VIRTUAL PARA ENSAYO DE BOMBAS

ANGULO, Mauricio A., LUCINO, Cecilia V.

UIDET Hidromecánica, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP

Calle 47 Nº200, LA PLATA

Mauricio.angulo@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: rendimiento, cavitación, bombas centrifugas, simulación de ensayo

Introducción

En las asignaturas Proyecto de Instalaciones Hidromecánicas y Máquinas Hidráulicas, los ensayos de bombas en bancos de pruebas cumplen una función importante, ya que la realización de ensayos de rendimiento y cavitación está incorporada como contenido de las asignaturas y por otra parte, el ensayo en sí constituye una situación de aprendizaje particular, diferenciada de la clase teórico-práctica. Esto se da en nuestro caso, disponiendo de infraestructura de laboratorio de máquinas hidráulicas específica para la docencia, que es poco usual en el ámbito universitario y que inclusive es utilizada por docentes y alumnos de otras universidades del país.

En el contexto de pandemia surgió la posibilidad de ofrecer a los alumnos una alternativa de simulación de los ensayos desde la virtualidad, que se presenta en este trabajo, centrada en los aspectos que nos parecen más relevantes desde el punto de vista formativo.

Objetivos del Laboratorio de Bombas

Los ensayos de laboratorio en bombas centrífugas tienen por finalidad verificar conceptos planteados en la teoría, obtener información característica de una bomba en particular y adquirir habilidades en la medición y manipulación de los dispositivos e instrumental, entendiendo que la medición con fines de diagnóstico y monitoreo es una de las áreas de intervención en la ingeniería hidráulica, civil, mecánica y electromecánica, especialidades para las que se dictan las materias.

En la teoría se plantea el principio de funcionamiento de las bombas rotodinámicas del cual surgen las curvas características Salto – Caudal (HQ), Potencia – Caudal (PQ) y Rendimiento – Caudal (η – Q), en el llamado *Ensayo de Rendimiento*. Respecto a la cavitación, se plantean en forma teórica sus efectos y la necesidad de anticipar las condiciones de instalación que provocan su inicio y desarrollo, lo cual es caracterizado en el *Ensayo de Cavitación* mediante la *Altura Neta Positiva de Aspiración requerida* (ANPAr) [1,2].
Se plantea que, a pesar de poder hacer una aproximación teórica a las curvas características, las mismas se obtienen a partir de ensayos en bancos de prueba, para luego llevarlas a otras condiciones de operación semejantes aplicando las leyes de la similitud.

Descripción del banco de pruebas virtual (BVB)

Criterios de diseño
Al igual que sucede con un banco de ensayos real, para el diseño del banco virtual deben establecerse los criterios de diseño en base a las funciones y ensayos que se pretenden realizar y también estos ayudar a definir el software mediante el cual se resolverán los cálculos

internos y la pantalla de comandos a través del cual el usuario interactuará. En este caso se eligió un software, Excel, con el cual los alumnos están habituados a trabajar en los trabajos prácticos y tienen licencias estudiantiles, no obstante, existen otros softwares como LabVIEW o Mathlab mediante los cuales podría realizarse la programación de banco virtual.

Se estableció entonces una lista de requerimientos que el banco virtual debía satisfacer, es decir que debía cumplir las siguientes pautas de diseño:

- ✓ Emular una instalación real no solamente en los aspectos funcionales sino también en su apariencia.
- ✓ Permitir la ejecución de ensayos de rendimiento y cavitación sobre una bomba específica.
- ✓ Permitir realizar todas las operaciones que requieren los ensayos mencionados, incluyendo operaciones secundarias que permiten la puesta en marcha del mismo, como: el purgado de instrumentos, la apertura de válvulas, el encendido de motores, etc.
- ✓ Controlar variables ambientales como presión atmosférica y temperatura del agua.
- ✓ Los instrumentos tendrán una respuesta instantánea ante la operación de válvulas y motores.
- ✓ Los instrumentos deberán tener un error asociado de forma tal que reproduzca con mayor aproximación a un experimento real.
- ✓ La realización de ensayos deberá tener una guía que permita a un usuario sin experiencia poder realizarlo de forma autónoma.

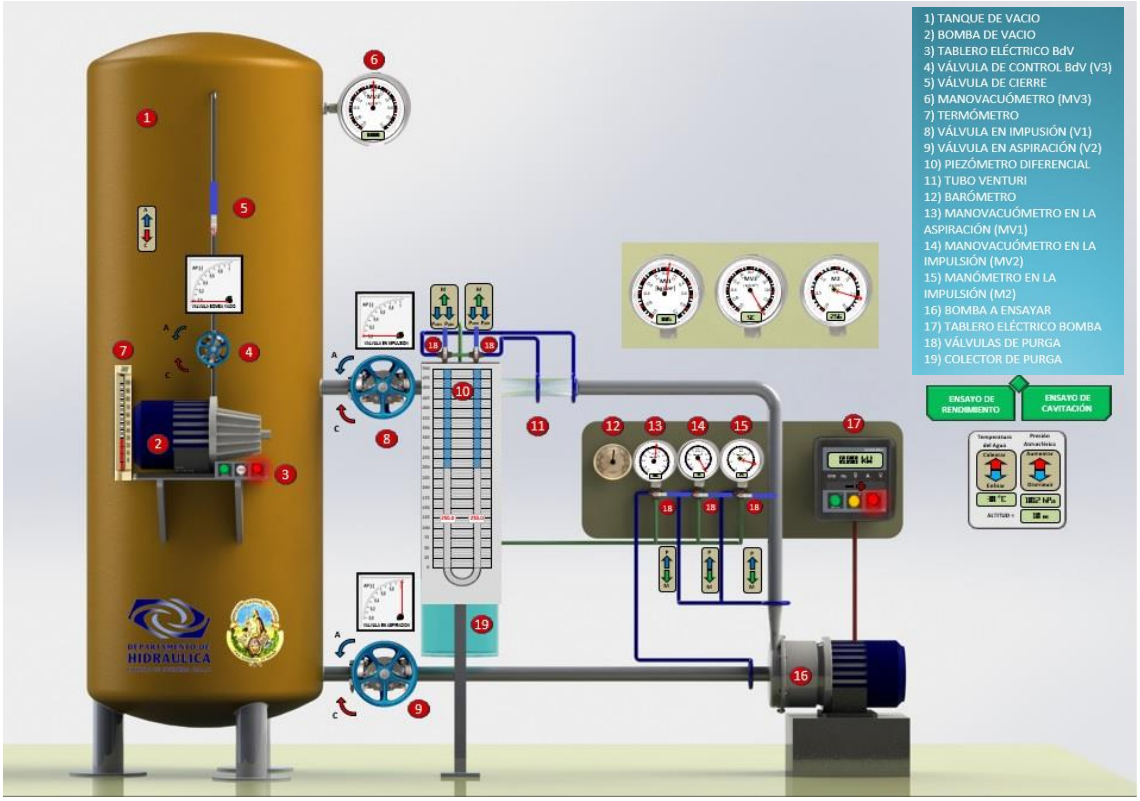


Figura 1.- Vista del tablero de comando del BVB tal como es percibida por el operador.

Componentes principales del circuito

El BVB es un circuito cerrado compuesto por los siguientes elementos:

Tubería de aspiración e impulsión: La tubería parte desde la parte inferior del tanque de vacío y retorno por la parte superior entrando debajo del nivel de la superficie libre.

Bomba principal (16): Es el objeto de ensayo, podría programarse el banco para instalar otra bomba con diferentes características.

Tanque de vacío (1): Es un recipiente hermético preparado para soportar depresiones cercanas a la presión de vacío. Parte del mismo está ocupado por agua y parte por aire, de forma tal que la presión interna del aire pueda ser controlada por la bomba de vacío.

Bomba de vacío (2): Permite deprimir el interior del tanque logrando así la presión al ingreso de la bomba principal que se requiere para que la misma cavite.

Elementos de control

Tableros eléctricos: Existen dos tableros eléctricos, uno controla el encendido de la bomba de vacío (3) y otro controla el encendido de la bomba a ensayar (17). Además, este tablero tiene un botón central amarillo que permiten de forma cíclica alternan la indicación del display entre: Potencia eléctrica-Velocidad de giro-Frecuencia de la red. Para dar una visión realista, los botones se iluminan al presionarse de forma que el operador pueda identificar claramente el estado del equipo. Por otra parte, el BVB tiene una lógica tal que si la bomba principal está apagada las lecturas de los instrumentos no indican valores al igual que el display del mismo.

Válvulas esclusas: Hay tres válvulas esclusas instaladas en el circuito. Una está sobre la tubería de aspiración (9) denominada “V2”, otra sobre la tubería de impulsión (8) denominada “V1” y una tercera instalada sobre la tubería que une el tanque de vacío y la aspiración de la bomba de vacío “V3”. Para operarlas de forma gradual deben presionarse las flechas que indican el sentido de apertura “A” (abre) y “C” (cierra).

Válvulas de 3 vías: Estas válvulas admiten tres posiciones de forma de comunicar en cada posición dos tuberías. Las misma poseen dos flechas indicadoras que ayudan a identificar las tuberías que conecta. Hay seis válvulas instaladas en el circuito donde tres se utilizan para purgar los manómetros y mano-vacuómetros en la aspiración e impulsión de la bomba. Otras dos se utilizan para el purgado el tubo Venturi y las ramas del piezómetro diferencial de mercurio. La restante se utiliza para abrir el tanque de vacío a la atmósfera o conectar a este con la aspiración de la bomba de vacío. Las válvulas se pueden operar presionando las flechas con letras “P” (purgar), “M” (medir).

Tablero de control de variables ambientales: Este tablero se ubica sobre la derecha del banco y es externo al mismo. Permite controlar dos variables, la presión atmosférica y la temperatura del agua en el interior del circuito. La P_{atm} solo es posible modificar si el banco de ensayos es trasladado a un sitio geográfico con otra altitud por lo tanto este tablero permite controlar la altitud y así la presión atmosférica media, medida con el barómetro. Por otra parte, el tablero permite controlar la temperatura del agua del circuito, es decir puede calentarla o enfriarla. Luego esto tendrá influencia sobre la presión de vapor del agua. Internamente el BVB utiliza ecuaciones provistas por la norma IEC 60193 que vincula altitud y P_{atm}.

Instrumentos de medición e indicadores de posición

Manómetros y mano-vacuómetros: El banco tiene instalados tres mano-vacuómetros, uno en la aspiración (13), otro en la impulsión (14), uno en el tanque de vacío (6) y manómetro en la impulsión (15). Todos estos instrumentos tienen lectura analógica (agujas) o digital (display), tal como los instrumentos reales. Si los mismos no son purgados, su lectura será errónea. De igual forma, en los casos donde la presión supere el fondo de escala del instrumento el display indicará la leyenda “SC” y las agujas quedaran trabadas en el fondo de escala. Para ayudar a la lectura de los instrumentos se encuentra una vista ampliada en la parte superior del banco. Los manómetros tienen un error de medición asociado de +/- 2 %, valor que puede modificarse

internamente. Cada vez que se realiza una operación el valor se actualiza dentro del entorno de error de forma tal que aún en iguales condiciones de caudal y potencia la lectura de estos instrumentos puede variar otorgando mayor realismo a la experiencia. Dos operadores no obtendrán exactamente las mismas mediciones.

Barómetro (12): Este instrumento está vinculado con la altitud del sitio donde se encuentra el banco de ensayos y una vez configurada, la presión atmosférica se mantiene invariable durante el ensayo. La lectura del instrumento solo puede hacerse de forma analógica leyendo la aguja sobre el cuadrante.

Piezómetro diferencial (10) y tubo Venturi (11): Estos dos elementos permiten medir el caudal que circula por la tubería. Para ello se provee al operador de la ecuación de calibración del tubo Venturi que vincula la columna diferencial de mercurio sobre las ramas del piezómetro y el caudal. Dicha lectura también tiene un error inducido artificialmente de forma tal que el caudal tenga un error de +/- 1 %. Las ramas del piezómetro diferencial cuentan con un indicador que ayuda al operador a realizar una lectura más precisa de la escala, como sucedería en forma presencial. Para realizar la lectura se requiere el purgado de los mismos.

Termómetro (7): La temperatura del agua dentro del circuito puede ser leída por este instrumento analógico si se observa su escala. También puede leerse en el display del tablero de control de variables ambientales.

Vatímetro: Por defecto, en el display del tablero de la bomba principal, se tiene la lectura directa de la potencia eléctrica consumida por la bomba ensayada. Este valor es aleatorio dentro de un entorno de +/- 1 % y arrojará diferentes lecturas aún para HQ constantes.

Tacómetro: Si se presiona el botón amarillo del tablero principal se puede leer la velocidad de rotación de la bomba y a su vez puede modificarse dicho valor si se presiona el botón +/- que controla la frecuencia del equipo cambiando la velocidad de giro modificando así las curvas características de la bomba.

Frecuencímetro: Si se presiona nuevamente el botón amarillo del tablero principal se podrá leer la frecuencia de la corriente alterna que ingresa al motor. De igual forma si se pulsa el botón +/- Podrá controlarse la velocidad de giro de la bomba y por ende modificará el punto de operación de la bomba.

Indicador de apertura: Junto con cada válvula esclusa se cuenta con un indicador analógico de la apertura que le permite al operador saber si la válvula está abierta (100 %), cerrada (0 %) o en una posición intermedia para tener como referencia durante los ensayos.

Ensayo de rendimiento

Para comenzar el ensayo, el operador deberá realizar una serie de operaciones para que los instrumentos estén listo para medir. Primero, debe asegurarse que la bomba de vacío este apagada y la válvula (5) cerrada para que el tanque se conecte a la atmósfera. Para que el ensayo no tenga afectación por cavitación la válvula en la aspiración deberá estar abierta y controlará el caudal con la válvula en la impulsión. Luego debe encender la bomba desde el tablero principal, purgar los manómetros, el tubo Venturi y el piezómetro diferencial y asegurarse que las válvulas queden en posición de medición. También, al comenzar deberá tomar nota de la temperatura del agua y de la presión atmosférica. Realizadas todas estas operaciones, el usuario está en condiciones de comenzar el ensayo. Entonces, deberá hacer lecturas de los manómetros, piezómetro diferencial y potencia eléctrica para cada punto de ensayo. Para pasar a otro punto deberá abrir la válvula de la impulsión y establecer un nuevo caudal, nuevamente registrará las lecturas de los instrumentos. Repitiendo esta operación

tantas veces como puntos se quieran registrar el operador podrá, cálculos mediante, construir las curvas HQ, PQ y η – Q (Figura 2 curvas cian, violeta y roja respectivamente).

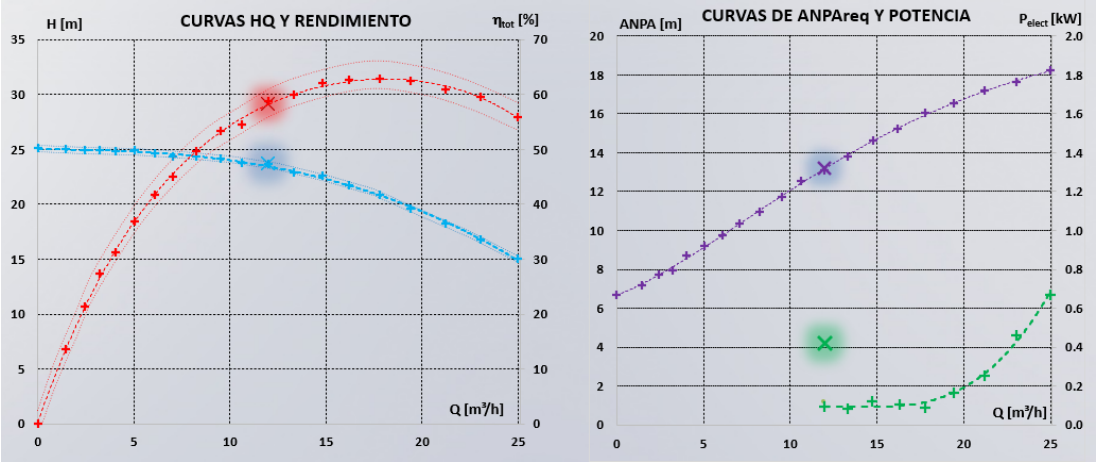


Figura 2.- Curvas características de la bomba ensayada. Las cruces indican el punto de operación de la bomba para un instante particular durante el ensayo virtual.

Ensayo de cavitación

Este ensayo se realiza a continuación del ensayo de rendimiento ya que es necesario conocer la curva de η – Q que no está afectada por cavitación. Para comenzar este ensayo el operador deberá mantener iguales condiciones que al inicio del ensayo de rendimiento. Luego, abrirá la válvula (5) para conectar el tanque con la bomba de vacío y encenderá la bomba de vacío. Para realizar la primera medición deberá posicionarse en un punto HQ donde ya conoce el rendimiento y, abriendo la válvula V3, deprimirá el tanque. Para una depresión dada, la cavitación aparecerá en el rodete de la bomba, y el rendimiento comenzará a caer, por lo que será necesario leer nuevamente los instrumentos, recalcular el rendimiento y continuar aproximándose sucesivamente hasta una caída del 3 % respecto del punto inicial. Este punto por definición es el que define el límite de operación de la bomba para ese caudal. Seguidamente se calculará el ANPA disponible de la instalación que se convierte en el ANPAr para ese punto. Para construir la curva completa de ANPAr – Q (Figura 2, curva verde) deberá posicionarse un nuevo caudal y comenzar el proceso nuevamente. Dado que para caudales bajos no se podrá alcanzar la cavitación en la bomba aún para la máxima depresión del tanque de vacío, el operador podrá cerrar la válvula en la aspiración para generar una pérdida de carga en la succión y luego podrá combinar con la depresión del tanque.

Discusión

Las actividades de laboratorio realizadas con presencialidad física indudablemente permiten la vivencia y la percepción directa, a través de los sentidos, de la “acción – reacción “o “causa – efecto” ante la operación de una instalación, que es una parte importante del ensayo. El efecto de una decisión tomada en el banco de ensayos real puede tener una implicancia que podría no ser percibida por el alumno en su verdadera magnitud en la simulación (como, por ejemplo: oír el sonido del motor, o que eventualmente “se inunde”, o que salga el mercurio del piezómetro por una maniobra incorrecta). Por otro lado, la situación de ensayo real se da en un entorno particular, de laboratorio, donde los alumnos y docentes se ponen en acción y se vinculan de una manera diferente a la que se da en la clase tradicional. Esto suele dar mayores oportunidades de acercamiento e intercambio; es una oportunidad para crear un escenario más convocante para la participación de los alumnos, más dinámico, de “novedad” y entusiasmo. Ver y tocar los objetos y dispositivos, manipularlos, controlarlos, son acciones

irreemplazables desde lo perceptivo y desde lo motivacional. Pero lo cierto es que, por diferentes motivos, no siempre es posible que las alumnas y los alumnos accedan a los beneficios de este tipo de experiencias en todas sus dimensiones formativas, especialmente, que realicen el ensayo completo operando el instrumental del banco en forma autónoma, enfrentándose a dudas, resolviendo problemas, disponiendo del tiempo que cada uno requiera para comprender el proceso y para analizar y verificar los resultados.

Como aspectos positivos de la simulación de los ensayos con una herramienta didáctica como la presentada en este trabajo, destacamos que da autonomía a los alumnos para operar el banco de pruebas, en un entorno seguro, sin requerimientos mayores a los habituales (disposición de computadora y manejo de planilla de cálculo). Otro aspecto positivo es que permite manejar libremente el tiempo de duración de la experiencia y repetirla sin límites, así como también posibilita incluir bombas de distintos diseños para identificar particularidades de las curvas de cada una, frente a la limitación de la instalación real. Permite recrear virtual e instantáneamente entornos de diferente presión atmosférica (como estar a una cota alta sobre el nivel del mar) o de mayor temperatura del agua. El ensayo simulado propone caminos que los alumnos pueden explorar, para llegar a los mismos resultados, aspecto que se dificulta en la presencialidad física, por la necesidad de mayor tiempo. Permite, por otra parte, adicionar valor a la observación, incorporando recursos didácticos complementarios en la secuencia de ensayos. Un hecho particular adicional, es que el la cursada virtual se pudo incorporar el ensayo de cavitación, que no se hacía por no disponer de instalaciones específicas (actualmente se encuentra en etapa de ejecución una instalación con este fin).

Conclusiones

El ensayo de bombas virtual permite abordar satisfactoriamente los contenidos conceptuales previstos y cumplir los objetivos de aprendizaje del procedimiento de los ensayos y de la función que cumplen sus componentes, así como de qué manera se procesan y muestran los resultados. A la vez, aporta algunas ventajas respecto a los ensayos tradicionales, desde el punto de vista didáctico. Vemos la posibilidad de completar esta herramienta para proponer actividades complementarias que se incluyan en la práctica, que a su vez puedan utilizarse como recurso para la evaluación, aun cuando en el futuro los ensayos vuelvan a realizarse con presencialidad física.

Consideramos que el entorno real para la realización de los ensayos es único en sus características, porque se actúa en forma directa con el objeto de estudio y porque ofrece un ambiente de trabajo convocante y motivante, pero también observamos que la realización de experiencias de laboratorio, por diferentes motivos, suele adoptar el modelo de “demostración”, o es meramente instruccional y procedimental - incluso a veces sin intervención directa de los alumnos - con poco aprovechamiento de su potencial como herramienta de enseñanza, de problematización de los conceptos, de oportunidad para fomentar la autonomía y el trabajo grupal y otros aspectos importantes para desarrollar habilidades prácticas y criterio ingenieril. Esto nos invita a pensar, más que en lo que perdemos con la virtualidad, en cuánto realmente aprovechamos lo irreemplazable de la presencialidad.

Bibliografía

[1] Bombas y Estaciones de Bombeo – Cap. V: Ecuación de Euler, Cap. II: Curvas características y similitud y Cap. IV: Cavitación (2021): Apuntes de cátedra Proyecto de Instalaciones Hdromecánicas y Máquinas Hidráulicas. Fac. Ingeniería, UNLP.
[2] International Standard (1999): *Rotodynamic pumps – Hydraulic perfomance acceptance test –Grades 1 and 2*. ISO 9906. Ginebra, Suiza.

EVALUACIÓN POR PARTE DE LOS ALUMNOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MATERIA GESTIÓN AMBIENTAL EN TIEMPOS DE PANDEMIA

Branne Julia, Cipponeri Marcos, Salvioli Mónica Laura

UIDET Gestión Ambiental, Departamento de Hidráulica, calle 47 Nº200, 1900 La Plata.
julia.branne@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: educación en pandemia, educación a distancia, cátedra gestión ambiental

INTRODUCCIÓN

La materia Gestión Ambiental se dicta para alumnos de distintas carreras de Ingeniería (Hidráulica, Civil y Agrimensura) y de otras Facultades (Ciencias Naturales y Arquitectura y Urbanismo), quienes se encuentran cursando distintos años de sus carreras. Habituados a dictar la asignatura de forma presencial, las condiciones impuestas por la pandemia de COVID-19 que aún estamos atravesando, nos obligó a iniciar, en muy pocos días, el dictado nuestra asignatura de forma virtual, lo que significó un desafío no solo para los docentes, sino también para los alumnos y para toda la comunidad educativa en general.

En las cursadas correspondiente al 2020 participaron en total 296 alumnos, de los cuales 98 cursaron durante el primer semestre y 198 durante el segundo. Cabe destacar que durante el primer semestre la mayoría de los estudiantes corresponden a la carrera de ingeniería en agrimensura, mientras que en el segundo semestre la mayor parte de los alumnos son estudiantes de ingeniería civil e hidráulica, de manera correspondiente con la ubicación de la asignatura en cada plan de estudios. Los alumnos de otras facultades se distribuyeron en los dos semestres.

Al igual que la mayoría de las asignaturas de Ingeniería, la materia se divide en dos módulos. En nuestro caso, el primero tiene una duración de cinco semanas mientras que el segundo tiene una extensión de 11 semanas. En cuanto a los contenidos en el primer módulo los mismos son en su mayoría teóricos, útiles para comprender aspectos básicos de ambiente y de gestión ambiental; mientras que el segundo módulo es de conceptualización y aplicación de instrumentos de gestión ambiental a proyectos de ingeniería; durante el mismo las clases teóricas acompañan el dictado de los trabajos prácticos que son resueltos por grupos de cinco alumnos, en la medida de los posible interdisciplinarios. Esta modalidad es relativamente fácil de llevarla a cabo con las clases presenciales.

Para llevar adelante la nueva modalidad virtual en el marco de la pandemia, la cátedra optó por la utilización de un Aula Virtual en la plataforma Moodle. Cabe aclarar que ninguno de los integrantes de la cátedra contaba con experiencia en su manejo y, si bien al principio nos resultó poco amigable, fueron de gran ayuda el soporte técnico brindado por el área de Tecnologías Educativas de la Facultad y los webinarios dictados por la Dirección General de Educación a Distancia y Tecnologías de la UNLP, a partir de los cuales pudimos reconocer y aprender a utilizarlos para el desarrollo de distintas actividades.

Habiendo transcurrido dos semestres completos de cursadas virtuales, queremos transmitir nuestra experiencia desde la cátedra con el objetivo de colaborar con el dictado de otras asignaturas de forma virtual, ya sea hasta que se pueda regresar a la presencialidad o para capitalizar lo aprendido para el dictado de cursos de forma remota. En este trabajo se presenta el desarrollo metodológico aplicado por la cátedra Gestión Ambiental en modalidad de Aula Virtual, y la evaluación que hicieron los alumnos de la experiencia a través de una encuesta que completaron al fin de cada semestre a través del mismo Moodle, y que se repitió en cuanto a contenidos y formato para que los resultados fueran comparables.

DESARROLLO

Llevar adelante el dictado de una materia de grado en un contexto de incertidumbre como el que significó y aún significa una pandemia a nivel mundial, requiere pensar en las distintas condiciones que pueden darse a partir de ello, como las distintas posibilidades de acceso a conexión a internet o a computadoras para uso personal, la posibilidad de contar con un espacio adecuado para la realización de actividades sincrónicas y asincrónicas, la disponibilidad de tiempo que puede verse limitada por diversas situaciones que pueden tener lugar al convivir situaciones académicas, laborales y de la vida doméstica en el mismo hogar.

Ello fue considerado al momento de pensar el dictado de nuestra asignatura de manera virtual y nos propusimos mantener un ritmo semanal de actividades que permitiera al alumno llevar la materia al día y de forma ordenada. A continuación, se presenta un resumen sobre cómo se resolvieron los principales aspectos de la materia:

Modos de comunicación con alumnos:

La forma de implementación de la asignatura fue transmitida con claridad desde un comienzo. Se decidió efectuar los avisos y comunicación con alumnos a través del mismo sistema Moodle. Para ello, en principio se estableció un foro de “novedades” donde se colgaban los avisos, entendiendo que les llegaba por correo la noticia a todos los alumnos. Al detectar que ello dependía de la configuración de cada usuario, optamos por comunicar las novedades a través de la mensajería interna del aula virtual (para que los alumnos reciban el aviso en su correo electrónico) y poner al inicio de la página una sección de novedades a modo “mural” donde queden registrados los anuncios.

Clases teóricas:

Se resolvió dar las clases de manera asincrónica, lo que por un lado permite a los alumnos poder administrar el tiempo y el momento para ver las clases y, por el otro, al docente responsable del dictado poder hacerlo en un espacio y lugar convenientes para ello. Los videos de las distintas clases fueron habilitados semana a semana, siguiendo el calendario de la materia. Las clases teóricas fueron complementadas con bibliografía específica de cada tema y adicionalmente, en el segundo módulo, con la presentación de un estudio de caso que siguió el ritmo de las mismas.

Las clases fueron grabadas en videos de extensión mp4 a través de plataformas de reuniones como ser Cisco Webex o Zoom, donde se mostraba la presentación en PowerPoint, permitiendo asimismo la participación de más de un docente, aspecto destacado por algunos alumnos. En una primera instancia se subieron los videos en el formato mencionado, pero ello nos trajo dificultades con el tamaño de los archivos que podía soportar la plataforma (100 MB), razón por la cual posteriormente optamos por subir los videos (con configuración privada) a YouTube, resultando esto mucho más práctico. De cualquier forma, se procuró que las clases no duraran más de 15 minutos y que en cada una se redondeara algún tema, de esta forma se subieron, por semana, aproximadamente tres videos de esa duración. Un detalle que parece menor pero que no lo es, se identificó el nombre del video con la temática abordada, de modo de facilitar su ubicación sobre todo en instancias de repaso.

Para las consultas, se habilitaron foros por cada tema, pero no hubo mucha participación de los alumnos por este medio, por lo que se optó por realizar clases de consulta sincrónicas una vez a la semana, como un complemento adicional a las clases teóricas.

Actividades de seguimiento:

Para cada tema dictado en la materia se elaboraron cuestionarios de autoevaluación que cada alumno tenía que resolver una semana después de acceder al material teórico. La cátedra propuso estos cuestionarios a modo de verificación del seguimiento por parte de los alumnos, reemplazando, de alguna forma, la toma de asistencia a las clases. La exigencia fue entonces del 80% de cuestionarios contestados y los resultados no aportaron a la calificación final.

Consistieron en preguntas de distinto tipo (opción múltiple, emparejamiento, verdadero o falso) relacionadas a cada tema y elaboradas por el docente a cargo de la teoría. Se estableció para su resolución el mismo día y horario en que se dictaba la materia, de manera tal de evitar superposición con otras asignaturas que los alumnos estuvieran cursando. No obstante, fue necesario atender situaciones particulares expresadas por lo alumnos que pidieron, justificadamente, la posibilidad de completar los cuestionarios en día u horario distinto.

Para cada cuestionario se estableció un tiempo límite para su resolución, el cual se fue ajustando en función del tiempo registrado por el Moodle para su ejecución hasta establecerlo en aproximadamente 20 minutos. Se habilitó el acceso a la calificación y a las respuestas correctas una vez caducado el tiempo para su resolución; de esta forma todos los alumnos tuvieron, al mismo tiempo, acceso a las respuestas correctas.

Trabajos prácticos:
En la situación de cursada presencial, los trabajos prácticos se resuelven de forma grupal (grupos armados por la cátedra para asegurar la interdisciplina) y en el aula, para minimizar el trabajo que deben realizar los alumnos en horario extracurricular, ya que se entiende que al ser de distintas carreras se dificulta coordinar encuentros de trabajo fuera del horario de la cátedra.

Para los trabajos prácticos en la modalidad virtual se procuró intensificar el modo sincrónico para lograr una mejor interacción con los alumnos. La presentación de los mismos se realizó bajo esta modalidad y con todos los alumnos juntos, luego cada docente organizó, con sus grupos de alumnos asignados, consultas semanales sincrónicas de aproximadamente 40 minutos en el horario de cátedra.

En el primer semestre se decidió que los alumnos resolvieran las prácticas de manera individual, por la dificultad que implicaba el trabajo en equipo a distancia; en el segundo, luego de una reunión de cátedra en el que se evaluaron lo resultados del primer semestre, se decidió que los alumnos de nuestra Facultad se agruparan voluntariamente entre compañeros de estudio, lo cual facilitaría el trabajo en equipo a distancia por el conocimiento previo entre ellos y por el entrenamiento adquirido durante el primer semestre, y a ellos se les sumó un alumno de la Facultad de Ciencia Naturales para lograr algún grado de interdisciplina en cada grupo de trabajo.

En todos los casos se estableció una fecha límite de entrega de los trabajos prácticos, previa a los parciales, y fue condición necesaria su aprobación para poder acceder a rendir el segundo parcial, como se acostumbra en la modalidad presencial.

Evaluaciones parciales:
Los parciales de ambos módulos se resolvieron también mediante la plataforma Moodle mediante el recurso “cuestionario” y de forma sincrónica, manteniendo el día y horario asignado a la materia.

Luego de una experiencia inicial en el primer parcial del primer semestre, en la cual se armó, a través de la Plataforma Moodle, un parcial para cada alumno sobre la base de la conformación de un total de unas 50 preguntas de las cuales 10 eran asignadas aleatoriamente a cada alumno, se optó por otra modalidad que permitió asumir que los parciales eran a libro abierto.

Entonces, a partir del segundo parcial del primer semestre la modalidad consistió en el planteo de en un estudio de caso ficticio, respecto del cual se pedía responder distintas consignas vinculadas a los conceptos teóricos y a las actividades prácticas desarrolladas durante la cursada. Se propuso un único estudio de caso en común para todos los alumnos, considerando que, aún si los alumnos lo resolvían con alguno de sus compañeros, llegar a

una respuesta requeriría un debate al respecto, lo que creemos que es un proceso de aprendizaje muy valioso en este caso.

Para permitir las consultas durante el parcial, se habilitó una sala de chat (en la plataforma Moodle) en la que estaban disponibles docentes para que los alumnos que tuvieran dudas respecto de enunciados de las consignas pudieran tener una respuesta accesible para todos, simulando lo que ocurre en el modo presencial.

La forma de corrección de los parciales, en la misma plataforma Moodle, procuró que haya una devolución para cada pregunta contestada parcial o totalmente mal, de modo que el alumno accediera al fundamento de su nota, entendiendo que esto forma parte del proceso de aprendizaje de cada alumno.

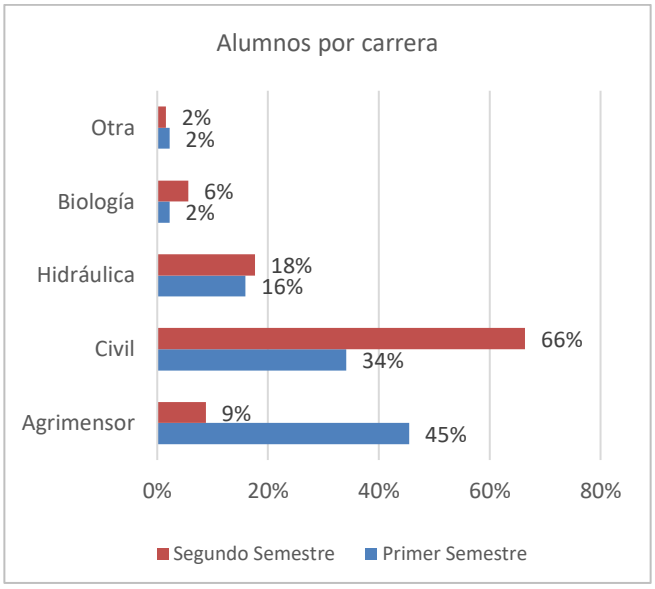
Clases de consulta y otras actividades propuestas:
Adicionalmente a las clases de consulta sobre los TPs con los docentes, se propusieron clases de consulta optativas y sincrónicas en otro día y horario para aquellos alumnos que quisieran participar. Durante los encuentros, de aproximadamente 1:30 horas, se respondieron en principio las preguntas de los alumnos respecto de contenidos teóricos y/o prácticos, y luego se propusieron distintas actividades, como ser la presentación de estudios de caso relacionados al tema de la semana (realizados por la UIDET Gestión Ambiental en el marco de las actividades de transferencia), o la propuesta de un mural colaborativo para armar diagramas de encadenamiento de impactos durante la actividad dejándolo disponible en el aula virtual para que los alumnos interesados sigan colaborando.

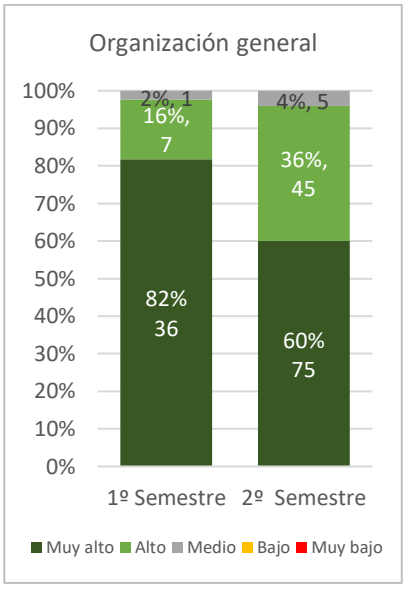
Ambas actividades fueron muy bien recibidas por los alumnos. Cabe indicar que la realización de estas actividades incrementa el número de asistentes a las clases de consulta y pudimos notar que los alumnos que participaron de estas clases eran los que llevaban mejor la materia y obtenían mejores calificaciones.

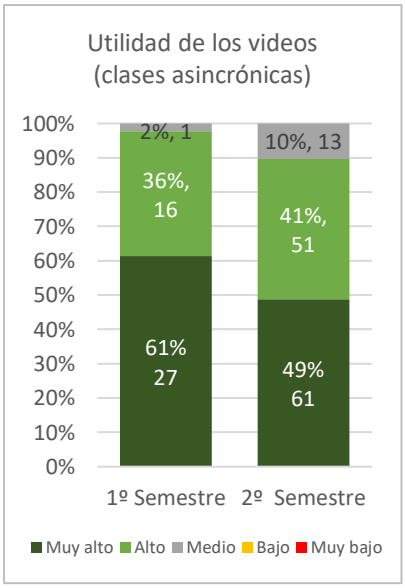
RESULTADOS
En la reseña de las distintas actividades hemos descripto las decisiones que hemos tomado y en la mayor parte de los casos mediante una evaluación on-line del proceso que se estaba viviendo. No se ha formalizado aun en el ámbito de la cátedra una evaluación sistemática por parte del cuerpo docente de los resultados, aunque sí se hacen reuniones de cátedra dos o tres veces por semestre, se realizan debates y se hacen evaluaciones cualitativas del avance de las actividades que sirven para realizar ajustes metodológicos. Por otra parte, se ha elaborado una encuesta única para los alumnos de ambos semestres para que ellos evalúen los resultados de la implementación de la materia en el modo virtual, por ello los resultados que se presentan se realizan en función del análisis de dichas encuestas.

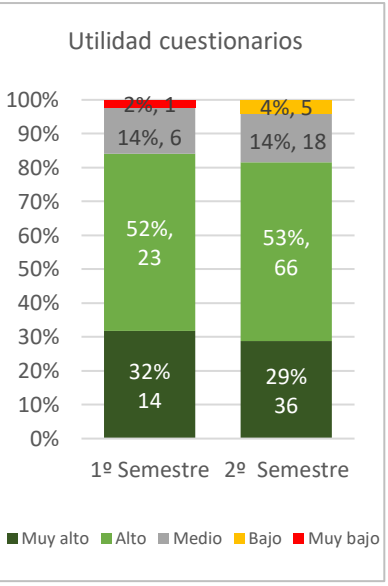
Encuesta final de cursada:
Con el objetivo de conocer la percepción del conjunto de los alumnos respecto del desarrollo de la materia en esta nueva modalidad, elaboramos una encuesta que se realizó mediante el recurso “encuestas” del sistema Moodle, la cual fue de carácter anónima y opcional. Se les solicitó a los alumnos que, para completarla, ya hubieran rendido el segundo parcial, al menos en una oportunidad, para poder tener opinión fundada en la totalidad de las preguntas. Sobre el final se les dio la posibilidad de agregar comentarios, los cuales fueron muy útiles y, en algunos casos, alentadores; por cuestiones de espacio esos comentarios no se pueden incluir en el presente estudio.

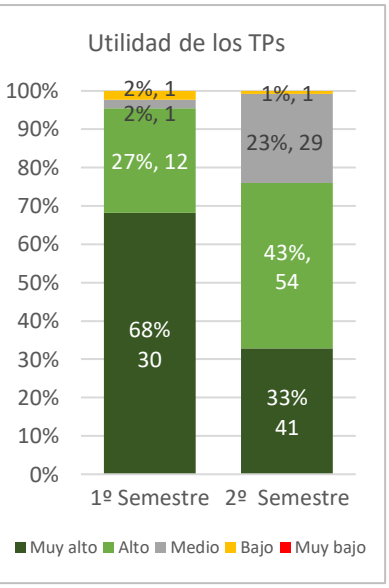
Presentamos resultados de las encuestas correspondientes a cada semestre del año 2020. Referido al primer semestre, recibimos 42 respuestas sobre un total de 79 alumnos que siguieron la materia, mientras que para el segundo semestre recibimos 125 respuestas sobre un total de 198 alumnos. Las respuestas fueron de gran utilidad para intentar mejorar el dictado de la materia en esta modalidad.

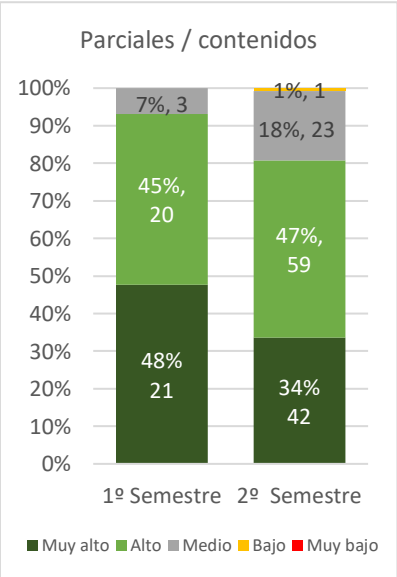

Alumnos por carrera
Otra
2%
2%
Biología
6%
2%
Hidráulica
18%
16%
Civil
66%
34%
Agrimensor
9%
45%
0%
20%
40%
60%
80%
Segundo Semestre
Primer Semestre

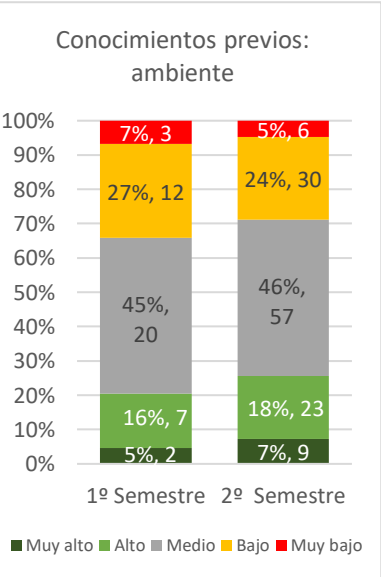

Organización general
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
2%, 1
16%, 7
82% 36
4%, 5
36%, 45
60% 75
1º Semestre
2º Semestre
Muy alto
Alto
Medio
Bajo
Muy bajo

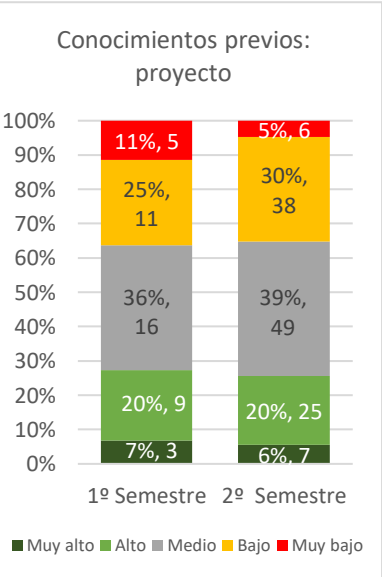

Utilidad de los videos (clases asincrónicas)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
2%, 1
36%, 16
61% 27
10%, 13
41%, 51
49% 61
1º Semestre
2º Semestre
Muy alto
Alto
Medio
Bajo
Muy bajo


Utilidad cuestionarios
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
2%, 1
14%, 6
52% 23
32% 14
4%, 5
14%, 18
53% 66
29% 36
1º Semestre
2º Semestre
Muy alto
Alto
Medio
Bajo
Muy bajo


Utilidad de los TPs
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
2%, 1
2%, 1
27%, 12
68% 30
1%, 1
23%, 29
43% 54
33% 41
1º Semestre
2º Semestre
Muy alto
Alto
Medio
Bajo
Muy bajo


Parciales / contenidos
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
7%, 3
45%, 20
48% 21
1%, 1
18%, 23
47% 59
34% 42
1º Semestre
2º Semestre
Muy alto
Alto
Medio
Bajo
Muy bajo


Conocimientos previos: ambiente
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
7%, 3
27%, 12
45%, 20
16%, 7
5% 2
5%, 6
24%, 30
46% 57
18%, 23
7% 9
1º Semestre
2º Semestre
Muy alto
Alto
Medio
Bajo
Muy bajo


Conocimientos previos: proyecto
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
11%, 5
25%, 11
36%, 16
20%, 9
7% 3
5%, 6
30%, 38
39% 49
20%, 25
6% 7
1º Semestre
2º Semestre
Muy alto
Alto
Medio
Bajo
Muy bajo

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Los resultados de las encuestas nos permiten confirmar que, en líneas generales, tanto la organización de la cursada como las actividades implementadas han sido positivas para el proceso de enseñanza/aprendizaje en la modalidad a distancia. Los alumnos manifiestan y destacan en sus comentarios finales de las encuestas la buena organización y trabajo en equipo, así como flexibilidad y buena predisposición por parte de los integrantes de la cátedra Gestión Ambiental.

Sin embargo, cabe indicar que la percepción general de los alumnos del primer semestre es más positiva que los del segundo, ello podría deberse a que en el primer semestre tuvimos la mitad de los alumnos respecto del primero (200 contra 100 en números redondos), lo cual hizo que la disponibilidad real de horas/docente por alumno sea menor en el segundo caso.

En cuanto a los resultados parciales, la utilidad de los videos y de los cuestionarios y la relación entre contenidos/parciales son buenos y bastante parejos entre ambos semestres, sin embargo, llama la atención:

- Respecto de la Utilidad de los TPs, en el primer semestre la valoración fue alta o muy alta en un 95%, y en el segundo fue del 77%, si bien en ambos casos los resultados son buenos, la baja es significativa, esto podría deberse también a una menor disposición de horas/docente por grupo/alumno, pero no estamos seguros de ello.
- En referencia a los conocimientos previos de temas ambientales, los bajos resultados no preocupan, porque precisamente una de las funciones de la cátedra es incorporar estos conocimientos.
- En relación con el bajo conocimiento previo en temas vinculados a los proyectos, este tema sí preocupa, porque los alumnos de ingeniería deberían contar con los mismos ya que son fundamentales para la implementación de la materia. En ese sentido nos inclinamos por pensar que la ubicación de la materia en etapas tempranas de las carreras de Ingeniería Civil Plan 2018 e Ingeniería en Agrimensura Plan 2018/2002, influyen significativamente en estos resultados. Cabe indicar que no es función de la cátedra explicar las cuestiones básicas referentes a los proyectos de ingeniería, ya que los mismos se dictan en otras cátedras.

El trabajo en equipo y la capacitación son elementos fundamentales para que la cátedra se adapte a esta nueva modalidad de enseñanza-aprendizaje, y lo consideramos una nueva oportunidad para mejorar la implementación de la materia una vez que se vuelva a la “normalidad” ya que hay muchos elementos de la educación a distancia que trascenderán en el tiempo.

Quedan por estudiar, entre otros temas, las opiniones de los alumnos en función de su carrera de procedencia y la sistematización de la opinión de los docentes de la cátedra.

REFERENCIAS

Caldeiro, G.P. (2016) *Dinámicas grupales en entornos digitales: incidencia del clima grupa en el rendimiento académico*. VII Seminario Internacional de RUEDA 2016, Santa Fe, Argentina.

Conde Vides J.V., García Rodríguez J., García Luna D., Hermiz Ramírez A., Moreno López, J.J., Muñoz Solís P.L., Osorio Navarro A. y H. Ramos Martínez (2019). *Manual Moodle 3.5 para el profesor.* Gabinete de Tele-Educación. Universidad Politécnica de Madrid. 275 pp.

Webinars organizados por la UNLP: 1º al 8º organizados por la Dirección de Educación a Distancia de la UNLP durante el primer semestre de 2020. https://www.ing.unlp.edu.ar/virtualidad

PROBLEMAS ASOCIADOS A LA REMOCIÓN DE NITRATO CON HIERRO METÁLICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ELEVADO CONTENIDO DE ARSENICO

Arturi, Tatiana S.[1]; Berardozzi, Eliana[1] y Zaritzky, Noemi[2].

1. Dpto. Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP. Calle 47 Nº200, CP (1900), La Plata, Argentina. tatiana.arturi@ing.unlp.com. 2. CIDCA (CONICET, CIC, Universidad Nacional de La Plata).

RESUMEN

Los materiales a base de hierro cero valente (ZVI) se utilizan en la remoción de arsénico y se han propuesto para la reducción de nitratos, un contaminante que se detecta comúnmente en las aguas subterráneas y superficiales. Esta técnica tiene como principales ventajas su sencillez, su bajo costo operativo y su mínimo impacto sobre el medio ambiente. El presente trabajo analiza los efectos de la utilización de un material a base de ZVI de bajo costo (lana de hierro) que se emplea para la remoción de arsénico, cuando hay presencia de alto contenido de nitratos en agua subterránea y el análisis de diversos factores que podrían condicionar la remoción de nitratos como el pH, la generación de nitrógeno amoniacal y la presencia del arsénico en el agua subterránea.

Palabras claves: Nitrato, Aguas subterráneas, Arsénico, ZVI

1. INTRODUCCIÓN

La presencia de concentraciones elevadas de nitrato (NO_3^-) en el agua potable se ha convertido en una preocupación en todo el mundo durante las últimas décadas. El nitrato es un ion soluble en agua que no se une fácilmente al suelo, por lo que es muy susceptible a la migración de escorrentía (Logan, 2018). Las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación por nitrato pueden incluir la escorrentía agrícola y urbana, la eliminación de desechos sanitarios e industriales no tratados de manera insegura, fugas en sistemas sépticos, lixiviados de vertederos, estiércol animal, óxidos de nitrógeno del aire. Este compuesto, debido a su alta solubilidad en agua, es posiblemente el contaminante de agua subterránea más extendido en el mundo, imponiendo una seria amenaza para el suministro de agua potable (García-Segura et al., 2018; Gabriel et al., 2012). El aumento de las concentraciones de nitrato en el agua potable causa principalmente dos efectos adversos para la salud: metahemoglobinemia, especialmente en los lactantes, y la posible formación de nitrosaminas cancerígenas (Ward et al. 2018, Fewtrell, 2004)

En la provincia de Buenos Aires se han encontrado fuentes de agua subterránea con contenido de nitrato de hasta 100 mg/L (Carol, 2005; Perdomo et al., 2020) y teniendo en cuenta los problemas de salud graves asociados con el exceso de nitrato en el agua potable, el código alimentario argentino, ha establecido un nivel máximo de contaminante de 45 mg/L de N-Nitrato en agua potable. Por este motivo, el agua contaminada con nitrato destinada a consumo humano debe tratarse adecuadamente para cumplir con las regulaciones establecidas (Schaider et al. 2019). A lo largo del tiempo se han desarrollado y aplicado diferentes métodos para la eliminación de nitrato de soluciones acuosas, incluida la desnitrificación biológica, la reducción química, el intercambio iónico, la adsorción y la separación por membranas, como el proceso de ósmosis inversa (Wu et al., 2018; Wang y Chu, 2016). Los procesos de intercambio de iones, adsorción y membrana solo separan el

nitrato de las soluciones acuosas y producirán resinas y adsorbentes agotados y rechazo de nitrato concentrado (Tugaoen et al., 2017). El proceso de tratamiento biológico generalmente requiere la suplementación externa de sustancias orgánicas para generar comunidades microbianas específicas y proporcionar [H^+] o donantes de electrones exógenos para la reducción de nitratos cuando las sustancias orgánicas intrínsecas en las aguas residuales son insuficientes. Además, la desnitrificación biológica tiende a ser un proceso que requiere mucho tiempo y se produce una gran cantidad de lodo biológico durante el proceso de desnitrificación, que necesita una mayor eliminación.

La reducción química basada en donantes de electrones inorgánicos es cada vez más atractiva debido a su fácil manejo y alta eficiencia. Se ha informado que varios donantes de electrones inorgánicos reducen o eliminan el nitrato (Shen and Wang, 2011). Entre ellos, los metales de valencia cero, como el aluminio (Zhao et al., 2014), el magnesio (Ramavandi et al., 2011) y el zinc (Liou et al., 2012) se han utilizado para reducir el contenido de nitratos en solución acuosa debido a su fuerte capacidad reductora, fácil operación y simple mantenimiento del proceso. El hierro de valencia cero (ZVI) es un metal reactivo con potencial redox estándar (E_0 = −0,44 V), abundante y económico (Ezzatahmadi et al., 2017;). Por tanto, es un agente reductor eficaz y ampliamente utilizado para el desarrollo de tecnologías para la eliminación de nitratos de las aguas subterráneas y residuales. Esta tecnología se ha utilizado también para remover un gran número de otros contaminantes como por ejemplo el arsénico. Teniendo en cuenta el alto contenido de arsénico en las fuentes de provisión de agua subterránea de nuestro país, el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería (FI-UNLP), ha desarrollado una planta sencilla, basada en el empleo de la técnica ZVI, que permite obtener hasta 10 m^3 /día de agua de bebida libre de arsénico en forma continua que actualmente se encuentra instalada en la cooperativa de provisión de agua de Localidad de Verónica (perteneciente a FEDECAP) a modo de prueba y se prevé la instalación de la planta de tratamiento para su puesta en funcionamiento en la cooperativa de la localidad de Pipinas.

Teniendo en cuenta que junto al arsénico en muchas ocasiones coexisten otros contaminantes como el nitrato, el objetivo de este trabajo fue analizar los efectos de la aplicación de la tecnología ZVI desarrollada en el Departamento de Hidráulica de la FI-UNLP para remover arsénico, en el tratamiento simultáneo de nitrato y los problemas que pueden generarse. Las principales preocupaciones que pueden limitar la aplicación de la técnica de ZVI para la reducción de nitrato incluyen la transferencia direccional de electrones de ZVI a nitrato, que transforma el nitrato en especies de nitrógeno inorgánico como el amonio, así como la formación de oxo-hidróxidos férricos insolubles que pueden limitar la velocidad de reacción. La eficiencia de reducción del nitrato se ve afectada por las características físicas y químicas de ZVI, así como por los parámetros operativos, principalmente el pH. Por lo tanto, en este estudio preliminar se analizarán la influencia del pH, la generación de nitrógeno amoniacal y la incidencia de la presencia de arsénico en el agua a tratar, sobre la capacidad del ZVI para disminuir la concentración de nitratos.

2. MATERIALES Y METODOS

Se preparó un sistema modelo de agua subterránea para la realización del estudio con una concentración de 100 ppm de $N\text{-}NO_3^-$ a partir de KNO_3 marca Anedra. Se agregó además NaCl para obtener una conductividad inicial de 850 µS en la solución. Las pruebas a diferentes valores de pH se realizaron agregando por goteo soluciones de HCl y NaOH hasta alcanzar

la lectura deseada utilizando un Medidor de PH/mV/Iones selectivos Orión Dual Star Thermo Scientific. En los ensayos realizados en presencia de arsénico a la solución modelo se le adicionaron diferentes volúmenes de una solución concentrada de As(V) 100 ppm preparada a partir de Na_3AsO_4 marca Anedra. Los ensayos fueron realizados en batch utilizando lana de acero comercial (Mapavirulana ®) como fuente de ZVI; se utilizaron vasos de precipitados con un volumen final de agua subterránea modelo de 100 ml utilizando un multiagitador magnético marca VELP Scientifica para su agitación. La concentración de N-Nitrato (N- NO_3^-) se determinó con electrodo de Nitrato combinado marca Thermo Scientific (Orion products), modelo 9707BNWP, y la concentración de N-Nitrogeno Amoniacal Total (N-NTA) se realizó mediante el método colorimétrico de Nessler utilizando un kit comercial Hach (Hach Company, Loveland, CO).

3. RESULTADOS

En la Figura 1 se muestra cómo se modifica la concentración de N-Nitrato en función del tiempo, cuando se pone en contacto una masa de 1 gr de ZVI con una solución que contenía inicialmente 100 mg/L de N- NO_3^- a un pH aproximadamente de 3.

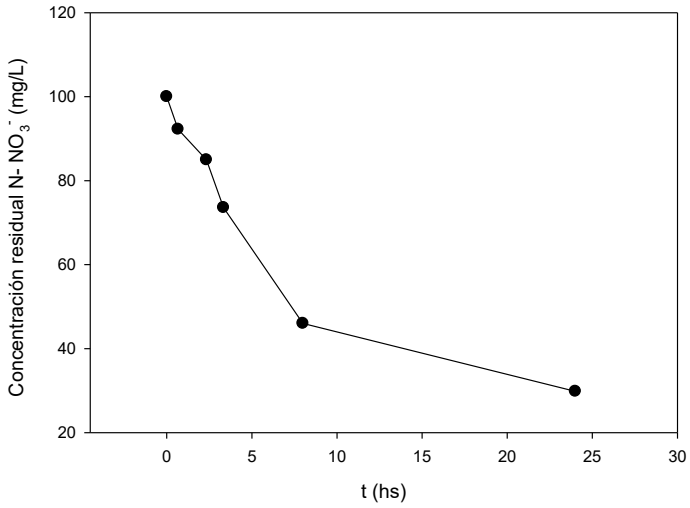


Figura 1: Concentración de N-Nitrato versus tiempo (condiciones iniciales: 100 mg/L de N-NO_3^-, pH=3 y 10 gr/L de ZVI).

Luego de 24 horas (Figura 1) se obtuvo un porcentaje de remoción 70,15%, que permitió obtener una concentración de N- NO_3^- residual de 29,8 mg/L que cumple con el límite establecido por el Código Alimentario Argentino (45 mg/L). Esto concuerda con lo obtenido por Kakavandi et al. (2019) que estableció un tiempo de reacción de al menos 24 h. Este tiempo fue adecuado para la reacción de reducción con una concentración de ZVI de 10 gr/L.

Por otro lado se puede notar que el aumento de la cantidad de masa de ZVI aumenta la disponibilidad de hierro que produce la reducción del nitrato. En la Figura 2 se muestra el N-NO_3^- residual del agua modelo para un tiempo de reacción de 24 h y diferentes concentraciones iniciales de lana de acero comercial (ZVI), con una concentración inicial de 100 mg/L de N-NO_3^- y un pH inicial de 3. Como se puede observar en la Figura 2, se obtiene una reducción significativa con concentraciones de lana de acero superiores a 7 g/L.

En el proceso de reducción por ZVI, el pH de la solución es un parámetro importante que influye en la cinética y en eficacia de reducción de N-Nitrato. En la Figura 3 se muestra cómo varia el N-Nitrato residual para diferentes pH iniciales al cabo de 24 hs de reacción de

una solución que contenía inicialmente 100 mg/L de N-NO_3^-. En la Figura 3 se puede ver que para condiciones de pH cercanas a la neutralidad disminuye la eficacia de reducción N-Nitrato, por lo que la concentración residual de N-Nitrato en el agua residual aumenta notoriamente. Para valores de pH comprendidos entre 2 y 6 se observó una clara disminución de la eficacia de reducción química de N-Nitrato a medida que aumenta el pH inicial

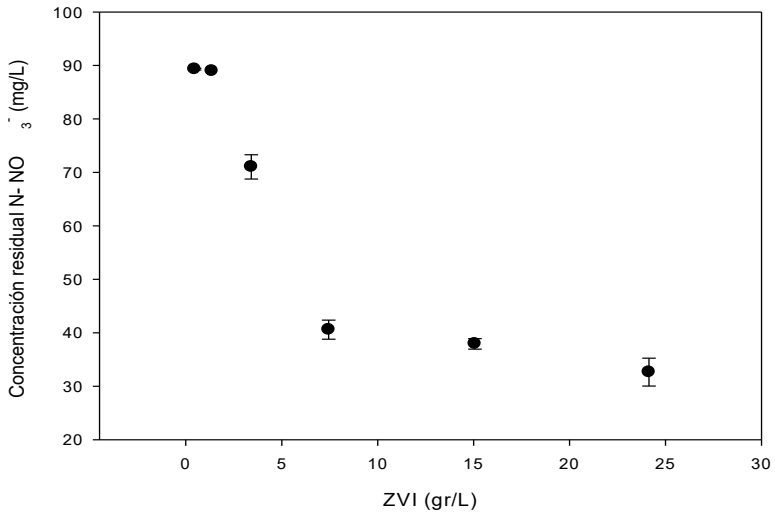


Figura 2: N-NO_3^- residual para diferentes concentraciones de ZVI (condiciones iniciales: 100 mg/L de N-NO_3^- y pH=3).

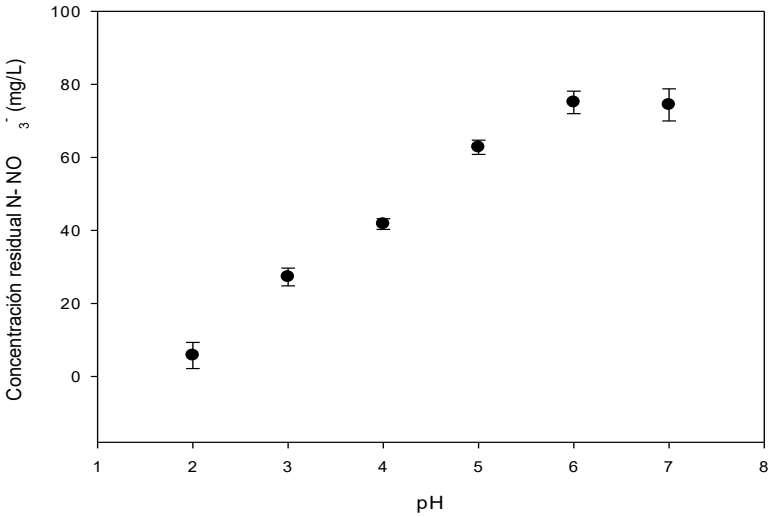


Figura 3: N-Nitrato residual para diferentes pH iniciales (condiciones iniciales: 100 mg/L de N-NO_3^- y 10 gr/L de ZVI).

Estos resultados están en concordancia con varios autores como Choe et al (2004), que no observó remoción de N-Nitrato con ZVI a pH mayor a 6.5, y Kakavandi et al. (2019) que obtuvo un porcentaje de remoción de casi el 100% del N- NO_3^- con un pH inicial de 2.5 y, por el contrario, cuando ajustó el pH inicial a 4.5 sólo obtuvo un 50% de remoción. Como se puede ver el pH de la solución acuosa a tratar, es un parámetro clave que afecta fuertemente la reducción de nitratos por ZVI, principalmente debido a que la reducción de nitratos requiere la participación de protones y a la formación de óxidos de hierro en la superficie de ZVI en condiciones de pH alto, que limitan la velocidad de reacción. Por otro lado, las aguas

subterráneas contienen naturalmente varios compuestos disueltos, que pueden afectar la reducción de nitratos por ZVI (Liu y Wang, 2019), como por ejemplo el arsénico en nuestro país.

En la Figura 4 se muestra el efecto combinado de estas dos variables (pH y concentración de [As]) sobre la remoción de nitratos. En la misma se puede ver cómo se modifica el porcentaje de remoción de N-Nitrato a medida que se incrementa la concentración inicial de arsénico presente en el agua a tratar para diferentes pH iniciales.

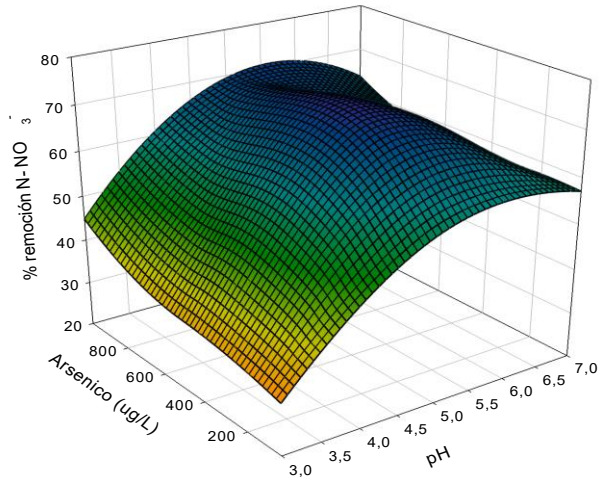


Figura 4: Remoción N-Nitrato residual para diferentes pH iniciales y concentraciones de arsénico.

Se puede observar en la Figura 4 que para los intervalos de trabajo utilizados es mucha más pronunciado el efecto del pH inicial del agua a tratar que la variación que se observa (para un pH dado) si se incrementa la concentración de arsénico (en el rango de concentraciones de arsénico que se podría encontrar en agua subterránea 50-1000 µg/L). A pH=3 la variación de la concentración de arsénico prácticamente no influyó en el porcentaje de remoción de N-Nitrato, mientras que a pH=5 con concentraciones superiores a 250 ug/L de arsénico el porcentaje de remoción de N-Nitrato disminuyó levemente. A pH=7, se observó un comportamiento similar que a pH=5, aunque se notó una reducción mayor de N-Nitrato que sin presencia de arsénico (Figura 3).

Se determinó la concentración de nitrógeno amoniacal total N-NAT (Tabla 1) en las muestras de agua tratada y se observó que a medida que aumentó el porcentaje de remoción de N-Nitrato aumentó la concentración de N-NAT producida, lo que indica que el Nitrógeno amoniacal resulta ser un producto de reacción de la reducción de N-Nitrato en conjunto con N_2 gaseoso posiblemente (Liu y Wang, 2019). El N- Amoniacal debería ser tratado posteriormente para cumplir con el límite 0.1 ppm NH_4^+ impuesto por el Código Alimentario Argentino, ya que sus valores resultan muy altos.

Tabla 1: Concentración de Nitrógeno Amoniacal residual obtenido en las soluciones tratadas.

pH inicial	% remoción N-Nitrato	Concentración de N-NAT (mg/L)
3	67,9	26
3	64,5	24
5	43,6	14
5	32,5	9
5	30,5	7

4. CONCLUSIONES

A lo largo del presente trabajo se investigó la reducción de las concentraciones de nitrato en agua subterránea cuando se utiliza la técnica de hierro cero valente (ZVI) utilizando lana de acero para remover arsénico. Se obtuvo un porcentaje de remoción de N-Nitrato máximo de 70,15% en 24 hs a pH ácido con 7 g/L de ZVI, que permitió obtener una concentración residual de este contaminante de 29,8 mg/L que cumple con el límite establecido por el Código Alimentario Argentino. Se observó una clara disminución de la reducción química de N-Nitrato a medida que aumentaba el pH inicial del agua y se concluyó que la presencia de arsénico en concentraciones de 50-1000 µg/L no afectó significativamente la reducción del N-Nitrato. Sin embargo, cabe señalar que este método trae aparejado algunos problemas asociados a la reducción de nitrato por ZVI, como el inconveniente de requerir valores pH de operación ácidos para lograr un porcentaje de remoción considerable y que uno de los productos de reacción es amonio, que en sí mismo debe ser tratado para disminuir su contenido. Estos puntos serán motivo de la continuidad de este estudio.

5. BIBLIOGRAFIA

Carol, E. (2005). Aspectos hidroquímicos del agua subterránea en el Conurbano bonaerense, Argentina. Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo, 59.

Choe, S., Liljestrand, H. M., & Khim, J. (2004). Nitrate reduction by zero-valent iron under different pH regimes. Applied Geochemistry, 19(3), 335-342.

Ezzatahmadi, N., Ayoko, G. A., Millar, G. J., Speight, R., Yan, C., Li, J. & Xi, Y. (2017). Clay-supported nanoscale zero-valent iron composite materials for the remediation of contaminated aqueous solutions: a review. Chemical engineering journal, 312, 336-350.

Fewtrell, L. (2004). Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease: a discussion. Environmental health perspectives, 112(14), 1371-1374.

Gabriel, J. L., Muñoz-Carpena, R., & Quemada, M. (2012). The role of cover crops in irrigated systems: Water balance, nitrate leaching and soil mineral nitrogen accumulation. Agriculture, ecosystems & environment, 155, 50-61.

Garcia-Segura, S., Lanzarini-Lopes, M., Hristovski, K., & Westerhoff, P. (2018). Electrocatalytic reduction of nitrate: Fundamentals to full-scale water treatment applications. Applied Catalysis B: Environmental, 236, 546-568.

Kakavandi, B., Takdastan, A., Pourfadakari, S., Ahmadmoazzam, M., & Jorfi, S. (2019). Heterogeneous catalytic degradation of organic compounds using nanoscale zero-valent iron supported on kaolinite: Mechanism, kinetic and feasibility studies. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 96, 329-340.

Liu, H. B., Chen, T. H., Chang, D. Y., Chen, D., Liu, Y., He, H. P. & Frost, R. (2012). Nitrate reduction over nanoscale zero-valent iron prepared by hydrogen reduction of goethite. Materials Chemistry and Physics, 133(1), 205-211.

Liu, Y., & Wang, J. (2019). Reduction of nitrate by zero valent iron (ZVI)-based materials: a review. Science of the Total Environment, 671, 388-403.

Logan, T. J. (2018). Effects conservation tillage on ground water quality: nitrates and pesticides. CRC Press.

Perdomo, S., Ruiz, M. S., Walhmann, A., Ainchil, J. E., & Kruse, E. E. (2020). Problemática de nitratos en el agua subterránea de zonas urbanas: caso de estudio Pergamino-Argentina. Revista Latino-Americana de Hidrogeología, 10.

Ramavandi, B., Mortazavi, S. B., Moussavi, G., Khoshgard, A., & Jahangiri, M. (2011). Experimental investigation of the chemical reduction of nitrate ion in aqueous solution by Mg/Cu bimetallic particles. Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, 102(2), 313-329.

Schaider, L. A., Swetschinski, L., Campbell, C., & Rudel, R. A. (2019). Environmental justice and drinking water quality: are there socioeconomic disparities in nitrate levels in US drinking water. Environmental Health, 18(1), 3.

Shen, Z., & Wang, J. (2011). Biological denitrification using cross-linked starch/PCL blends as solid carbon source and biofilm carrier. Bioresource technology, 102(19), 8835-8838.

Tugaoen, H. O. N., Garcia-Segura, S., Hristovski, K., & Westerhoff, P. (2017). Challenges in photocatalytic reduction of nitrate as a water treatment technology. Science of the Total Environment, 599, 1524-1551.Wang, J., & Chu, L. (2016). Biological nitrate removal from water and wastewater by solid-phase denitrification process. Biotechnology advances, 34(6), 1103-1112.

Ward, M. H., Jones, R. R., Brender, J. D., De Kok, T. M., Weyer, P. J., Nolan, B. T., & Van Breda, S. G. (2018). Drinking water nitrate and human health: an updated review. International journal of environmental research and public health, 15(7), 1557.

Wu, J., Yin, Y., & Wang, J. (2018). Hydrogen-based membrane biofilm reactors for nitrate removal from water and wastewater. International Journal of Hydrogen Energy, 43(1), 1-15.

Zhao, W., Zhu, X., Wang, Y., Ai, Z., & Zhao, D. (2014). Catalytic reduction of aqueous nitrates by metal supported catalysts on Al particles. Chemical Engineering Journal, 254, 410-417.

INST. MALVINAS



INFORME SOBRE LAS ACTIVIDADES EDUCATIVAS VIRTUALES EN EL INSTITUTO MALVINAS

Autores Torres, Nuria I. Martinez del Pezzo, Andrés. Fernández, Guillermo. Kurten, Tomás. Orihuela, Carlos. Ruiz, Juan M. Puillandre, Nahuel.

Instituto Malvinas, IM, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Diag. 80 #350, 1900.
nuria.torres@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: extensión universitaria, pandemia, python, excel, marketing digital

RESUMEN

El propósito de este informe es el de explicar cómo fue el proceso de adaptación de las actividades docentes extensionistas que se venían desarrollando en el Instituto Malvinas con clases presenciales exclusivamente hasta 2019, a la virtualidad durante los años 2020 y 2021.

En estos dos últimos años, la oferta de cursos de extensión abierta a la sociedad ha sido: *MS Excel (Planillas de cálculo)*, *Marketing Digital*, *Diseño asistido por computadora* e *Introducción a la programación con Python*; y los talleres virtuales de Operador de Pc: *Documentos, hojas de cálculo y presentaciones en Google, Diseño y confección de CV digital* y *Hojas de Cálculo de Google*.

Estas actividades se han realizado exclusivamente de forma virtual, en diferentes plataformas según las necesidades y requerimientos de los docentes y alumnos.

En el año 2020 se han inscripto 227 alumnos, de los cuales 160 han culminado las actividades cumpliendo con los requerimientos de aprobación.

INTRODUCCIÓN

Los cursos dictados en el Instituto Malvinas (en adelante IM) articulados juntamente con el Programa Punto Digital, dependiente de la Secretaría de Innovación Pública de la Jefatura de Gabinete de Ministros de la Nación, tienen la común particularidad de transmitir educación formal en materia digital e informática desde sus inicios, orientados a la formación de la sociedad en el carácter de cursos de extensión según lo define la normativa de la Facultad de Ingeniería.

Debido a esto, las actividades siempre tuvieron como objetivo el de poder dictarse a todo el país en formato de cursos presenciales y a distancia en base a la plataforma del programa Punto Digital. Al iniciarse el período de aislamiento social preventivo y obligatorio (ASPO) se debió recurrir a la adecuación del formato presencial a virtual, que por cuestiones de facilidad de acceso se realizó adaptando los contenidos a las plataformas más difundidas en ese momento Google Meet, Moodle, Zoom y Webex.

Todas estas consideraciones, sumado a aquellas consideradas por [1] [23] (en Torres, N. I., Huechante, N., Cimino, E., Fernández, G., Baylon, L., Bruno, F., Pryzslak, M., Albarración, E., y Martinez del Pezzo, A. (2019). Publicado en V Jornadas Internas de investigación y transferencia/Facultad de Ingeniería UNLP fueron tomadas en cuenta en el desarrollo de las actividades virtuales, sabiendo que las condiciones de accesibilidad varían según cada persona, desarrollándose cursos para diferentes niveles de formación.

OBJETIVO

El objetivo de este informe es presentar la metodología que se utilizó para cambiar de las actividades presenciales a las virtuales, manteniendo la misión de que toda la sociedad pueda acceder a estos y compartir los resultados alcanzados a la fecha, que pueden verse reflejados en la cantidad de asistentes a los cursos y los índices de aprobación a los mismos.

DESARROLLO

Metodología:

El dictado de todos los cursos modalidad virtual en el 2020 se ajustó al calendario académico de la FI-UNLP, ya que los docentes responsables del dictado de los cursos son alumnos de esta unidad académica, comenzando en el mes de mayo. Usualmente se usaba el mes de febrero para actualizar los contenidos y plataformas de difusión, plantear nuevos objetivos, estimar fecha de comienzo y finalización de clases y diseñar nuevos cursos. Si bien esta actividad se llevó a cabo, la fecha de inicio de clases se prorrogó para dar tiempo a la implementación virtual y difusión de los cursos que ya se dictaban anteriormente.

La oferta de actividades estables en formato presencial que se dictaban periódicamente en el instituto era: *Operador de PC* nivel 1 y 2, *MS Excel*, *MS Movie Maker*, *Operador Android*, *Apoyo escolar de matemática, Reparación de PC, Diseño Asistido por computadora,* y la implementación de *Impresión 3D.*

La oferta de cursos en formato virtual durante el año 2020 fue: *MS Excel*, *Marketing Digital*, *Diseño asistido por computadora* e *Introducción a la programación con Python*; y los talleres virtuales de Operador de Pc: *Documentos y presentaciones en Google, Diseño y confección de CV digital* y *Hojas de Cálculo de Google*.

Cursos que continuaron su dictado o cambiaron su estructura

- El Curso de Diseño Asistido por computadora se dictó con el mismo temario que se dictaba en el formato presencial, usando plataforma Moodle y utilizando BBB como soporte de la clase, a través de las aulas virtuales que posee la UNLP. En el primer cuatrimestre este curso fue dictado para alumnos de la Escuela Técnica E.S.S.T. Nº2 ‘Ingeniero Emilio Rebuelto’ y también fue abierto a la comunidad.
- El Curso de MS Excel se dictó en dos niveles: Básico e intermedio, cada uno de cuatro clases, con trabajos prácticos y evaluación final.
- Los Cursos de Operador de PC niveles 1 y 2 se desarrollaron en el formato de Talleres, con una duración de dos a cuatro clases, donde se explicó el funcionamiento de herramientas que ayuden a los estudiantes de nivel inicial a la actualización y uso de programas de software libre de Google. El cambio de estructura de curso a taller se implementó para darle más dinamismo a la actividad, buscando llegar a mayor cantidad de gente, concentrando los contenidos en las temáticas más solicitadas por los alumnos.

Cursos que no continuaron

- El curso de Operador de Android se dejó de dictar, ya que estaba dirigido a personas mayores, menos adaptadas a los medios virtuales, por lo cual en primera instancia se tomó esa decisión.
- El curso de Impresión 3D se prefirió no adaptarlo, ya que la mayoría de los alumnos no cuentan con una impresora en sus casas, y la práctica presencial con esta es fundamental para su entendimiento y el desarrollo del curso.

Cursos nuevos que se implementaron virtualmente

- Se comenzó con el dictado del Curso Marketing Digital de entre 12 o 13 clases teórico-prácticas, con un Trabajo Práctico integrador final utilizando la plataforma Webex.
- Se comenzó con el dictado del Curso Introducción a la programación con Python (Programación básica), variando la cantidad de clases de entre 10 a 13, tomando un TP integrador final. El contenido de este curso fue evolucionando, ya que se desarrolló e implementó en formato virtual utilizando primeramente la plataforma Classroom y Zoom cambiando en el segundo cuatrimestre por Classroom y Meet.

Las actividades con denominación de *Curso* se dictan con clases teórico-prácticas sincrónicas, además de grabar y subir cada clase a la plataforma elegida por el docente. En esta también se sube material de estudio, se interacciona con los alumnos y al final del curso se toma un examen o TP integrador. Tienen un mínimo de duración de 30 horas, repartidas según el curso y el docente. Cumpliendo estos requisitos, se entregan diplomas de aprobación (en formato digital).

Los *Talleres Virtuales* también se dictan de forma sincrónica, y su duración es de entre 4 y 8 horas, con clases teórico-prácticas. Esta actividad durante 2020 no estuvo certificada por la F.I. sino por el programa Punto Digital.

En las siguientes tablas (Tabla 1), se presenta la información de la cantidad de alumnos, por actividad y por cuatrimestre, que han podido inscribirse y terminar su formación en el año 2020; así como las plataformas utilizadas y el método de evaluación:

Primer cuatrimestre 2020					
CURSO/TALLER	**INSCRIPTOS**	**APROBADOS**	**PLATAFORMA**		**EVALUACIÓN**
			Aula Virtual	**Clase Virtual**	
Curso de Intro. prog. con Python	19	10	Classroom	Zoom	TP integrador
Curso Diseño Asistido CAD	20	18	Moodle	BBB	Examen
Curso de Ms Excel	15	5	e-mail	Zoom	Examen
Curso de Marketing digital	25	10	-	Webex	TP integrador
Curso de Marketing digital	15	10	-	Webex	TP integrador
Taller Operador PC 1*	7	7	Classroom	Meet	-
Taller Operador PC 2**	20	20	Classroom	Meet	-
TOTAL 1er cuat.	**121**	**80**			

Segundo cuatrimestre 2020					
CURSO/TALLER	**INSCRIPTOS**	**APROBADOS**	**PLATAFORMA**		**EVALUACIÓN**
			Aula Virtual	**Clase Virtual**	
Intro. prog. con Python	22	9	Classroom	Meet	TP integrador
Diseño Asistido CAD 2	5	2	Classroom	Meet	Examen
Ms Excel 2	20	5	e-mail	Zoom	Examen
Marketing digital 3	40	25	Classroom	Meet	TP integrador
Taller Operador PC 3* **	9	9	Classroom	Meet	-
Taller Operador PC 4** **	10	10	Classroom	Meet	-
TOTAL 2do cuat.	**106**	**60**			
TOTAL 2020	**227**	**140**			

*Tabla 1- Cantidad de Alumnos, Plataformas y Métodos de evaluación, por curso, por cuatrimestre. *Taller Op. PC1: 'Almacenamiento en la nube/ uso de Google Drive',**Talles de Op PC2: 'Documentos, Hojas de cálculo y presentaciones de Google – Diseño y confección de CV digital'*

DISCUSIÓN

Plataformas de difusión

Históricamente, para la difusión de contenidos de las actividades de extensión del IM se usaba Facebook, y a partir de 2019 se incorporó Instagram ya que tiene mejor llegada y accesibilidad a todo el rango social.

Plataformas de soporte

Los cursos de extensión del IM tienen grupos de estudiantes heterogéneos: Amplio rango de edades y de formación, diferentes lugares de procedencia y distintos niveles de acceso tecnológico. Por eso en el proceso de la adecuación de los cursos se intentó usar plataformas de uso general y difundido, que fuera fácil de usar y acceder para todos.

Se probaron Zoom, Webex, BBB y Meet para dictar las clases, donde se encontraron problemas con Zoom (caducaba la clase cada 40 min). La plataforma BBB, que se pensó para permitir la conexión sin gasto de alumnos (incluida en Moodle), presentaba complicaciones en la inscripción y limitación en la carga de datos, donde las clases grabadas tuvieron que subirse a la plataforma de YouTube. Luego de probar las distintas plataformas, la mejor que se adaptó a todos los docentes y alumnos fue Google Classroom y Meet.

Cantidad de alumnos por curso o taller

En el formato presencial, las limitaciones de cantidad de alumnos venían dadas por la cantidad de PC en condiciones de uso disponibles en el aula donde se dictaba la actividad, en cambio al cambiar al formato virtual, por ejemplo, en el curso de *Marketing Digital* no hubo limitantes en la cantidad de alumnos, ya que en las clases sincrónicas se desarrollaban los contenidos teórico-

prácticos, esto llevó a que la actividad contara con 40 alumnos con un único docente, lo cual se constató que no resultaba eficiente pedagógicamente ya que se complicaba mucho la interacción docente alumno.

Para los cursos de *Introducción a la programación con Python* y *Diseño asistido por computadora* se limitó la cantidad de alumnos durante la virtualidad, debido a que son cursos donde la corrección de los trabajos prácticos es personalizada, lo cual genera mucha carga de trabajo para un solo docente que afecta a la dinámica de la clase.

Evaluación

En los *Cursos Virtuales,* al ser cursos de extensión, aprobados por el Consejo Directivo de la FI-UNLP que se adaptaron a la virtualidad, la toma de una evaluación al final del curso resultó obligatoria para la certificación de aprobación por parte de los alumnos, así como el hecho de tomar asistencia, con un porcentaje de obligatoriedad del 70% para acceder al certificado de asistencia.

Para el curso de *Diseño Asistido por computadora*, en el formato presencial se tomaba un examen de tres horas, que evaluaba contenidos específicos de los temas. Para la adaptación a la virtualidad, se tomó un examen personalizado con 24 horas para su desarrollo con el formato carpeta abierta. El alumno tenía que hacer el plano de la habitación donde estudiaba (con requisitos específicos), esto se decidió para evitar la copia entre los alumnos. La decisión de tomarlo con una duración de 24 horas fue para sopesar la posible caída de los servicios de internet y luz, o encontrar un horario que el alumno pudiera acceder al uso de una PC.

Para el curso de *Introducción a la programación con Python*, se optó por tomar un examen integrador, con requisitos puntuales para su aprobación. También el contexto del examen fue personalizado, ya que los alumnos tenían que desarrollar programas específicos que solucionaran conflictos en relación con su propia ocupación .

Para el curso de *MS Excel* se tomó examen sincrónico finalizando el curso, con la obligatoriedad de rendir otro examen a la vuelta de la presencialidad en el futuro.

CONCLUSIONES

Habiendo visto los resultados obtenidos en la presencialidad (Ver Tabla 2) y en la virtualidad, se entiende que debe brindarse acceso a un grupo heterogéneo social, donde ambas modalidades son funcionales a distintos grupos de personas. La FI-UNLP mantiene su compromiso con brindar su conocimiento a la sociedad poniendo a disposición los recursos humanos necesarios para el desarrollo de las actividades mencionadas aunque anteriormente, además proveía los recursos informáticos y servicios asociados que ahora tienen que ser solventados por los asistentes a las actividades.

Los cursos de *Introducción a la programación con Python, Diseño Asistido por Computadora* y *MS Excel* requieren que el alumno tenga acceso (además del servicio de internet) a una computadora en buenas condiciones. Este hecho fue limitante, sobre todo con los alumnos de la E.S.S.T donde la mayoría no tiene acceso a una PC, aunque sí a un teléfono celular. También se ha notado que ciertas regiones tienen inestabilidad en el servicio de internet, aunque este hecho trata de ser compensado con la disponibilidad de las clases grabadas.

Las encuestas finales de los cursos muestran una gran aceptación de estos al formato de la virtualidad, por lo que, ante la perspectiva de volver a la presencialidad, cuando la situación epidemiológica lo permita, se prevé mantener una modalidad mixta (presencial y virtual), habiendo observado además que mediante la virtualidad se amplía la llegada que poseen los cursos a diferentes regiones del país, que era un objetivo planteado desde los inicios del IM.

AÑO	Alu.	Op. PC 1	Op. PC 2	Word (1)	MS Excel	MS Movie Maker	Op. Android	Rep. de PC	Diseño Asistido	Impresión 3D	Ap. Mat.	total
2016	I	32	0	10	24	0	0	0	45	0	0	111
	A	18	0	3	10	0	0	0	29	0		
2017	I	24	11	0	43	0	0	0	60	0	3	141
	A	10	9	0	23	0	0	0	31	0		
2018	I	13	16	0	41	7	21	52	41	19	7	217
	A	9	13	0	37	7	9	21	25	16		

Total Alumnos inscriptos (3):	459
Total Alumnos diplomados:	270
Retención de alumnos:	58,82%

(1) Curso discontinuado
(2) Apoyo escolar es una actividad no certificada, sólo se contarán la cantidad de alumnos que asistieron.
(3) Al menos asistieron a una clase.

Tabla 2- Cantidad de alumnos modalidad presencial, años 2016 a 2017. Fuente: Nota Fuente: Torres, N. I., Huechante, N., Cimino, E., Fernández, G., Baylon, L., Bruno, F., Pryzslak, M., Albarración, E., y Martinez del Pezzo, A. (2019). Publicado en V Jornadas Internas de investigación y transferencia/Facultad de Ingeniería UNLP

BIBLIOGRAFÍA

[1]UNLP. (2017). Secretaría de Extensión Universitaria. 20/2/218, de UNLP Sitio web: https://unlp.edu.ar/la_secretaria_de_extension
[2]Consejo Directivo FI-UNLP. (2016). Marco Regulatorio de Actividades de Extensión. 20/2/2018, de FI-UNLP Sitio web: https://www.ing.unlp.edu.ar/sitio/institucional/legislacion/facultad/ordenanzas/012-02-2016.pdf
[3]FI-UNLP (2014) 0300-001681/14-00, res. 000544. Estatuto de creación del Organismo de Investigaciones, Desarrollos, Transferencias e Innovaciones en Políticas Soberanas 'Instituto Malvinas'
Actis, M. (2017). La Facultad tiene que seguir involucrándose en los problemas de la región. Ingeniar, 16-21.
Tauber, F. (2018). *Pensar la universidad: Proyecto institucional de la Universidad Nacional de La Plata 2028-2022*. La Plata: Edulp.

REFERENCIAS

Webinarios, recomendaciones y metodologías sugeridas por la Escuela de educación a distancia de la UNLP https://unlp.edu.ar/educacionadistancia

Los cursos usan las plataformas de Google Classroom y Meet http://classroom.google.com, http://meet.google.com

PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DEL PAPEL

Abel Malena[1], Bianchi Gustavo[1,2,3], Tocci Ana M.[1,2]
1.- Dirección de Innovación Energética y Ambiental (DIEA) del Instituto Malvinas.
2.- Facultad de Ingeniería. UNLP
3.- CONICET
anamaria.tocci@ing.unlp.edu.ar

1.- Introducción

Actualmente uno de los mayores problemas que enfrentan muchas poblaciones es la contaminación y escases del agua dulce alrededor del mundo. La contaminación y escases afectan a los humanos, fauna, flora y los diferentes seres vivos que pueden vivir en la misma.

Frente a esta problemática mundial en torno al agua, se ha visto la necesidad de desarrollar una serie de estrategias de manejo sustentable de la misma. Sin embargo, es necesario realizar tratamientos a los efluentes. Dentro de las tecnologías tradicionales se encuentran los procesos biológicos y los procesos físico-químicos. Hoy en día existen técnicas basadas en la electroquímica y que actualmente se presenta como una alternativa que ofrecen ventajas competitivas frente a las tradicionales, dentro de esta área se encuentra la electrocoagulación (Bautista 2015).

Las aguas residuales de la industria papelera se caracterizan por presentar un elevado contenido de materia orgánica, que se traduce en elevados valores de demanda química de oxígeno (DQO), también presentan concentraciones importantes de fenoles generados en los procesos de blanqueo de la pasta para fabricar papel, contribuyendo a la toxicidad del agua y deben ser eliminados antes de su descarga al medio acuático. (López Grimau, et al.2017). Otro problema son los metales pesados que en cierta proporción repercuten en los seres vivos por su toxicidad provocando alteraciones en los órganos por absorción en los tejidos, enfermedades respiratorias y enfermedades crónicas, daños cerebrales e incluso la muerte, entre estos metales pueden nombrarse el manganeso, que es necesario para la supervivencia de los humanos, pero es también tóxico cuando se encuentra en elevadas concentraciones repercutiendo en el tracto respiratorio y el cerebro.

Por otra parte, el boro también puede ser parte de estos contaminantes cuyos efectos sobre el cuerpo humano son principalmente del tipo hepáticos, renales, neurológicos. La tendencia del boro a acumularse en los tejidos animales y vegetales constituye un riesgo potencial para la salud de aquellos que consuman alimentos o agua con alto contenido de Boro.(Fuente Garcia Soto (2000)). En solución acuosa se lo encuentra presente como ácido bórico y como iones borato, el equilibrio ente estas dos especies depende del pH. A pH bajo, existe en el medio acuoso como ácido bórico no disociado, Por el contrario, el anión se convierte en la especie predominante a altos niveles de pH, ambas especies pueden coexistir como una mezcla de equilibrio a niveles de pH que varían de 7.0 a 11.5 Rioyo et.al (2018).

Para eliminar estos contaminantes se ha tratado las aguas con diferentes métodos físico-químico, como la flotación, la adsorción, la oxidación química, la filtración por membranas o la coagulación-precipitación. En los últimos años la electrocoagulación (EC) ha ido ganando terreno respecto a la coagulación convencional. La (EC) está basada en el hecho de que la estabilidad de los coloides, suspensiones y emulsiones es influenciada por cargas eléctricas. Por lo tanto, si se suministran cargas eléctricas adicionales a las partículas cargadas a través de electrodos apropiados, la superficie de las partículas es neutralizada y entonces varias partículas se combinan en aglomeraciones más grandes y separables. Para la aplicación de

cargas se utilizan electrodos, los mismos suelen ser de aluminio o hierro debido a que son baratos, están fácilmente disponibles y tienen eficacia probada. Yilmaz et.al.(2007)

Las reacciones involucradas son las que se muestran a continuación:

En el cátodo: $3H_2O + 3e^- \rightarrow \frac{3}{2}H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$

En el ánodo: $Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$

En la solución: $Al^{3+}_{(aq)} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_{3(s)} + 3H^+_{(aq)}$

La electrocoagulación ocurre en tres etapas. En la primera, se forma el coagulante por la oxidación del ánodo. En la segunda, se estabilizan los contaminantes de modo que se reducen las fuerzas de separación entre las partículas suspendidas por neutralización de cargas dando lugar a la tercera y última, donde los contaminantes estabilizados se unen formando flóculos o precipitado. Bautista (2015) Yilmaz et.al. (2007).

Los factores que afectan a la electrocoagulación los lista Arango Ruiz (2005) y son:

- Densidad de corriente: La misma determina la cantidad de iones Al^{+3} liberados por el electrodo. Esta selección podría realizarse también teniendo en cuenta otros parámetros de operación como el pH y la temperatura.
- Presencia de NaCl: La sal aumenta la conductividad del agua residual.
- pH: El efecto del mismo se refleja en la eficiencia anódica y se relaciona con la disolución del hidróxido del metal.
- Temperatura: Se ha encontrado que la eficiencia en la corriente incrementa inicialmente hasta llegar a 60°C punto donde se hace máxima, para luego disminuir.

2.- Desarrollo y Discusión

El presente trabajo se basa en el análisis de agua de residuo generada por una empresa papelera y la evaluación de la aplicación del método de electrocoagulación para purificación de la misma con fin de cumplir con la regulación de la ley vigente. Se desarrolló el trabajo en la Dirección de Innovación Energética y Ambiental (DIEA) del Instituto Malvinas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

2.a) Método experimental

En el laboratorio, se preparó el reactor electrolítico y se midieron antes y después del proceso de electrocoagulación las siguientes variables: pH, turbidez, alcalinidad, concentración de cloruros, DQO, concentración de fenoles, manganeso, boro, fósforo y dureza. Una vez realizada la primera sedimentación se hicieron diluciones 1:1 y 1:0,5 de la muestra en volúmenes de 500 ml. La electrocoagulación se realizó empleando electrodos de aluminio de alta pureza, de dimensiones 140 x 60 mm, siendo el área sumergida total de 14400 mm^2 con una separación de 1,5 cm entre ellos el cual se puede apreciar en la figura 1. Se empleó un agitador magnético para el mezclado de la muestra durante el proceso, Figura 2 y el aporte de corriente constante a dichos electrodos fue mediante una fuente de alimentación, lal cual se aprecia en la Figura 3. Los parámetros a variar durante los ensayos fueron la corriente, tiempo de tratamiento y pH. Luego, se midio la conductividad de la muestra verificando que sea mayor a 1000µS para que el proceso sea aplicable, de no ser así se le debe agregar NaCl hasta llegar a la conductividad deseada. Al finalizar con la electrocoagulación, se realizó un ajuste de pH con HCl 6 N a valores cercanos al 6,5 (el cuál se conoce como valor óptimo) para la formación de la especie coagulante empleando aluminio. Por último, se realizan ensayos de coagulación-floculación química.

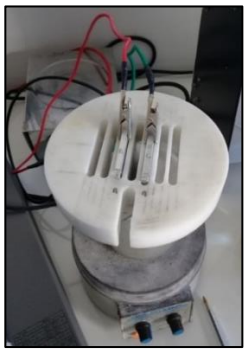


Figura 1: soporte de electrodos



Figura 2: Agitador



Figura 3: Fuente

Luego del tratamiento electroquímico, las muestras se dejaron reposar un tiempo suficiente para la estabilización de las fases y posteriormente se extrajeron muestras del sobrenadante a las cuales se les realizaron las determinaciones de los parámetros correspondientes.

2.b) <u>Analisis</u>

Al efluente en cuestión se lo caracterizó con el fin de identificar las concentraciones de los contaminantes presentes y las condiciones iniciales del mismo. Luego del tratamiento electroquímico del crudo algunos contaminantes disminuyeron en un porcentaje importante, como, por ejemplo, la concentración de Mn disminuyo en un 59,3%, el P un 89,2% y el B en un 51,7% pero están todavía muy lejos de los parámetros de calidad de las descargas límites admisibles según Resolución 336/2003 -Anexo II de la Provincia de Buenos Aires.
En lo que respecta al tratamiento electroquímico de las diluciones del crudo, se realizaron ensayos variando la corriente y el tiempo de electrocoagulación. En el Gráfico 1 se puede observar la variación en la concentración de B en función de la corriente y el tiempo de electrocoagulación, los mejores resultados se obtuvieron para la dilución 1:1 con una corriente de 1A durante 10 minutos o una corriente de 2A durante 5 minutos. Con dichas variantes se estaría casi alcanzando el límite permitido de 2 ppm para descarga en cuerpos de agua superficiales.

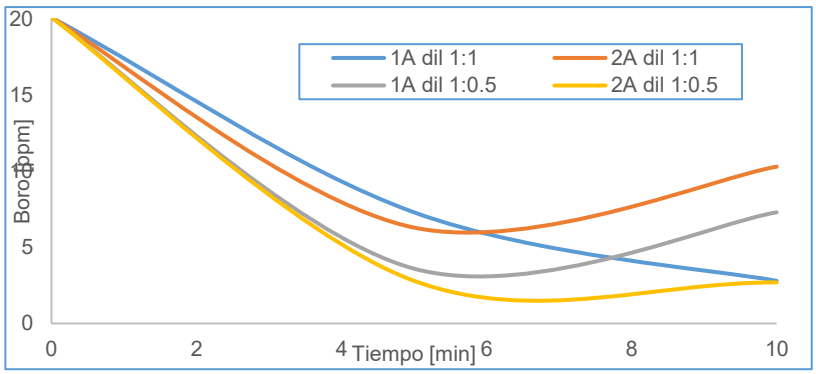


Gráfico 1: variación de la [B] con diluciones y a diferentes corrientes y tiempos

En cuanto al Mn tanto con la dilución 1:1 como con la 1:0,5 se alcanzó el límite permitido luego de la EC. En el caso del fosforo con una corriente de 1A durante 10 minutos se logra alcanzar 2ppm. Y en el caso de los fenoles también se alcanza el límite permitido con una corriente de 1A a partir de los 5 minutos de EC.

En el gráfico 2 podemos ver como varían estos contaminantes en el tiempo de EC manteniendo constante la corriente para una dilución 1:0,5.

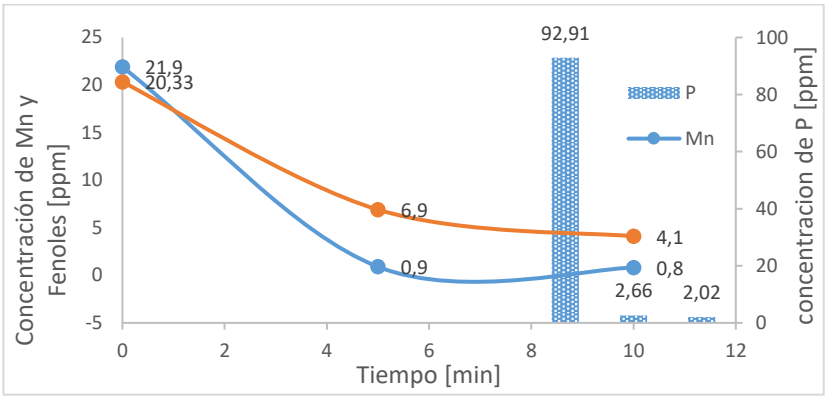


Gráfico 2: Variación de las concentraciones de Mn, P y Fenoles con el tiempo de EC para una dilución 1:0,5 y una corriente de 2 A

En general, con una dilución 1:0,5 logramos acercarnos a los niveles admisibles de los parámetros permitidos. Lo que no hemos logrado es disminuir el DQO más que un 15% del nivel inicial, estando muy lejos del valor permitido para la descarga. Quizás sería conveniente realizar una electro oxidación luego de la EC. Podemos comparar los valores obtenidos para diferentes parámetros en la Tabla 1 para una dilución 1:1 con una corriente de 1 A y de 2 A durante 5 y 10 minutos de electrocoagulación.

	Crudo sin EC	1A 5 min	1A 10 min	2A 5 min	2A 10 min	(1)	(2)
Al (ppm)	0,37	1,72	0,12	1,79	0,69	≤ 5	≤ 5
Turbidez (NTU)	208,00	0,03		0,88	0,04		
Mn (ppm)	21,90	1,1	1,2	0,9	1,1	≤ 1	≤ 1
Boro (ppm)	20,10	7,3	2,8	6,3		≤ 2	≤ 2
DQO (ppm)	1119,50	933	957	951	928	≤ 700	≤ 700
Fenoles (ppm)	18,92	0,23	0,47	1,49	0,31	≤ 2	≤ 0,5
Fosforo (ppm)	92,91	5,88	2,7	2,01	1,17	≤ 10	≤ 10
Dureza (ppm)	260,62	160	181	145	140		

Tabla 1: Comparación de parámetros evaluados para una dilución 1:1 a diferentes tiempos y diferentes corrientes

(1) Autoridad de aguas de la Pcia de Bs As RESOLUCION N° 336/2003 Tipo de vertido Colectora cloacal
(2) Autoridad de cuenca Matanza Riachuelo ACUMAR Tipo de vertido Colectora cloacal

2.c) Electrocoagulación y pH

Se llevó a cabo una segunda ronda de experimentos, para ver el efecto de la EC sobre diferentes parámetros con modificación del pH. En todos los casos la EC se realizó a 1 A durante 10 minutos sobre el agua cruda. El pH se ajustó con NaOH en los valores 5,7,9 y 11. Podemos apreciar en los gráficos los resultados de estas variables a medida que se aumentaba la alcalinidad de la solución. Los valores de pH permitidos para el vertido cloacal (1) PH entre 7-10 según (2) entre 5,5-10

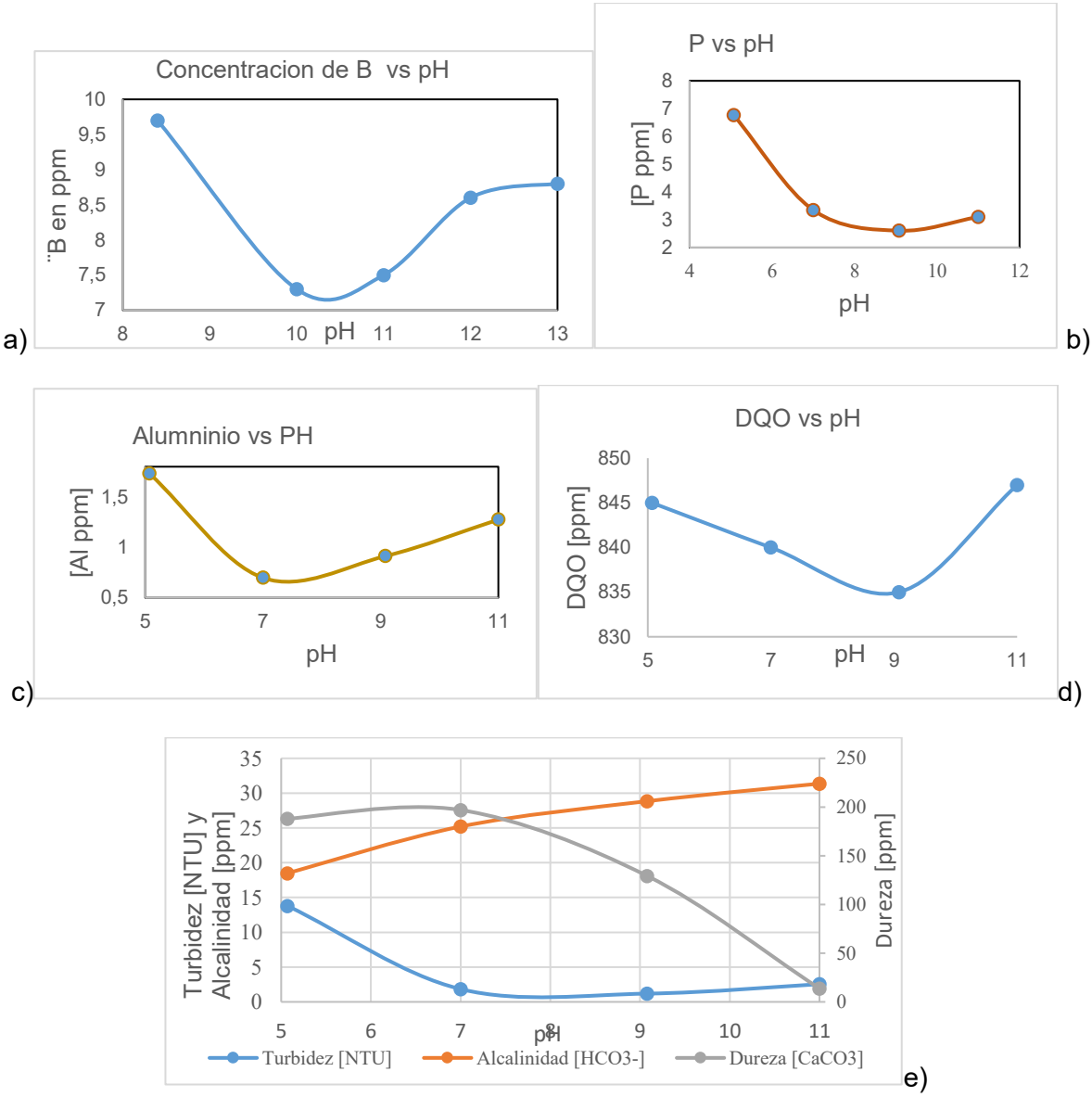


Gráfico 3: variación de variables con el pH

Como podemos ver en los gráficos algunas variables varían con el pH, tanto el B como el P (grafico 3 a y b) se encuentran favorecidos con el aumento de este, el Al (gráfico 3 c) en cambio vimos que si bien la menor cantidad se encuentra a pH cercanos a 7 no estaría mal trabajar a valores entre 8 y 9 que mejorarían las demás variables que hemos medido. El DQO resulto con valores muy altos y aumentar la alcalinidad de la solución solo hizo que disminuyera un 1 % (gráfico 3 d) por lo tanto el aumento de pH no tiene influencia en la disminución de DQO. En cuanto a la turbidez y dureza vemos que disminuye y como era de esperarse la alcalinidad aumenta al aumentar el PH.

3.- Conclusiones

Los resultados que arrojan las mediciones presentan algunas anomalías, pero es muy difícil cuando se trabaja con sistemas reales que las muestras sean homogéneas. Las diluciones se eligieron en función de lograr los mejores resultados sin superar los valores que podrían utilizarse en una empresa.

Algunos de los parámetros no alcanzan a cumplir con los índices de calidad de las descargas a un cuerpo de agua superficial, pero se reduce mucho el porcentaje de los mismos. Es necesario encontrar la relación de variables que mejores estos parámetros.

En conclusión, queda reflejado que el empleo de técnicas electroquímicas arroja resultados satisfactorios para el tratamiento de efluentes de la industria papelera y el gran potencial que éstas presentan en comparación a los tratamientos tradicionales actualmente empleados.

4.- Bibliografía

Arango Ruiz, Álvaro (2005) *La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales*. Revista Lasallista de Investigación [en línea]. 2005, 2 (1), 49-56 [fecha de Consulta 22 de septiembre de 2020]. ISSN: 1794-4449. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520109

De la Fuente Garcia Soto Maria del Mar (2000) Fuente García-Soto, María del Mar de la (2000). *Diseño y desarrollo de un sistema de tratamiento para la eliminación de boro en vertidos industriales*. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Industriales (UPM). Disponible en: http://oa.upm.es/155/

Javier Rioyo, Vasantha Aravinthan, Jochen Bundschuh, Mark Lynch (2018) *Pretratamiento de ablandamiento de pH alto para la eliminación de boro en sistemas de desalinización interior*. Separation and Purification Technology 205(2018) 308-316. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.05.030

Patricia Morales Bautista (2015). *Tratamiento de agua residual por biodiesel por electrocoagulación.* Tesis. Instituto Politecnico Nacional Mexico D.F

Víctor López Grimau; Beatriz Amante García; Lluc Canals Casals. *Análisis de ciclo de vida para la selección de electrodos en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria papelera*. 21th International Congress on Project Management and Engineering Cádiz, 12th - 14th July 2017

Yilmaz AE, Boncukcuoğlu R, Kocakerim MM. *A quantitative comparison between electrocoagulation and chemical coagulation for boron removal from boron-containing solution*. J Hazard Mater. 2007 Oct 22;149(2):475-81. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.04.018. Epub 2007 Apr 8. PMID: 17524554.

MATERIALES



Desarrollo y Validación Clínica de un Hisopo Monolítico para Toma de Muestra Nasofaríngea en el diagnóstico de COVID-19

Mag. Ing. Tomás ECHARRI*, Ing. Carlos Luis LLORENTE*, Ing. Juan Manuel ECHARRI*, Inga. Leticia Anahí AZPEITIA*, Ing. Facundo URRUTIPI*, Ing. Ángel Joaquín MARTINEZ*, Dra. Inga. Kyung Won KANG*, Ing. Juan Manuel LOPEZ**, Farm. Pablo DE ARAQUISTAIN**, Dis. Textil María Luz FLORES**, Ing. José Francisco LOPEZ**, Sr. Alejandro SIMONETTI**.
[*] Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata (FI-UNLP).
[**] PS Anesthesia S.A. (PSA).

1. Introducción

La pandemia de COVID-19 provoco el desabastecimiento de insumos sanitarios a nivel mundial y en particular la cadena de suministros de técnicas de diagnóstico molecular, como la reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa (RT-PCR), sufrieron una demanda sin precedentes. Si bien los hisopos nasofaríngeos flocados (HNF) son el estándar dorado en la toma de muestras microbiológicas, durante la primera ola se desarrollaron alternativas para suplir la oferta en el corto plazo. A nivel local, por resolución del poder ejecutivo nacional, los hisopos con tubo de transporte fueron declarados insumos sanitarios críticos. En este contexto, la empresa PS Anesthesia S.A. (PSA) solicito asesoramiento en el desarrollo de un kit para toma de muestra nasofaríngea. En mayo de 2020 comenzaron las actividades de investigación y desarrollo, que se materializaron en un hisopo nasofaríngeo prototipo integrante de un kit que contiene los insumos para la toma, recolección y transporte de muestras microbiológicas. La particularidad del hisopo nasofaríngeo desarrollado es su construcción monolítica (HNM) adaptada al proceso de moldeo por inyección, que prescinde del proceso de adhesión de microfibras para la captura de muestra.

La recolección de muestra nasofaríngea es el procedimiento recomendado por la CDC [1] en el diagnóstico de COVID19. La lista de hisopos nasofaríngeos (HN) aprobados por la FDA [2] son en su amplia mayoría flocados. A pesar que existe evidencia sobre la capacidad de detección con hisopos de dacrón [3], debido a las dimensiones típicas de la torunda y excesiva rigidez, no son apropiados para la toma de muestra nasofaríngea. Durante la ejecución de los ensayos se utilizó como HNF de control el producto CM-FS915 fabricado por Yancheng Huida Medical Instruments que cuenta con autorización ANMAT [4]. Este HNF es geométricamente similar al modelo FLOQSwab 503CS01 pero con quiebre a los 80mm, el cuerpo es inyectado en ABS y posee un flocado con fibras de Nylon de 15 µm de diámetro medio.

2. Desarrollo

Para sustituir a los HNF exitosamente es primordial conseguir los niveles captura y elución de este producto, imitando su adaptación al sitio anatómico para garantizar el confort. El concepto de diseño (Figura 1) es de construcción monolítica, adaptado al proceso de moldeo por inyección. Está compuesto por una región proximal (mango) y una región distal con una transición flexible (cuello), que se extienden a ambos lados de una entalla en V (punto de quiebre). El extremo distal (cabeza) posee canales circunferenciales, con un acabado superficial texturado [5]. La única operación necesaria en la fabricación del HNM es el moldeo por inyección de termoplásticos. En este producto tanto el principio de funcionamiento como la baja tolerancia a los defectos de la pieza, imponen cotas en las tallas características de las formas constructivas que le confieren al proceso de fabricación una dificultad tecnológica similar a la micro-inyección. El producto requiere una resina compatible con la técnica de ensayo, biocompatible de acuerdo con ISO 10993 y apta para el proceso de moldeo por inyección. Las resinas poliméricas preseleccionadas fueron polipropileno (PP) y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). El PP producido en el país se emplea como materia prima para aplicaciones alimenticias, sus ventajas son la buena procesabilidad y bajo costo. El ABS

permite disminuir las secciones transversales estructurales, facilita la separación del cuerpo (fractura) y posee mayor afinidad con geles de base acuosa.



Figura 1. Forma geométrica del hisopo nasofaríngeo monolítico.
Regiones: cabeza (magenta); cuello (rojo); apoyo (amarillo); punto de quiebre (verde); mango (azul)

2.1. Prototipado

De un total de dieciocho (18) variantes geométricas (Protoformas), cuatro (4) fueron preseleccionadas para ejecutar pruebas de mecanización del molde de prototipado (Protomolde). A partir de la composición química y caracterización térmica de las resinas, se efectuó el filtrado de bases de datos para la estimación de los parámetros de procesamiento. Para ejecutar las pruebas de inyección fueron seleccionadas tres (3) resinas, generando para generar un total de doce (12) prototipos, producto de las combinaciones de materiales y protoformas.

El envase primario utilizado está conformado por laminas mixtas de papel grado médico y polímero (PET o PP) termo-sellables aptas para esterilización con óxido de etileno (EO). La esterilización por EO elimina organismos vivos, desnaturaliza ADN y RNasas [6], pero no impide que substancias contaminantes como piretógenos u otros, puedan coexistir con el producto.

La presencia de defectos micro geométricos en la región adsorbente, potenciales causantes de incomodidad o daño en el tejido durante la captura de muestra, fue analizada durante la puesta a punto del proceso de fabricación. Los defectos congénitos de los prototipos, originados por las imperfecciones constructivas del protomolde, se cuantificaron dimensionalmente por MO estereoscópica. Para la detección y caracterización de potenciales contaminantes inhibidores de la reacción RT-PCR se utilizó microscopía SEM y microanálisis EDS.



Figura 2. Prototipo esterilizado (EO) en envase *peel pouch*.

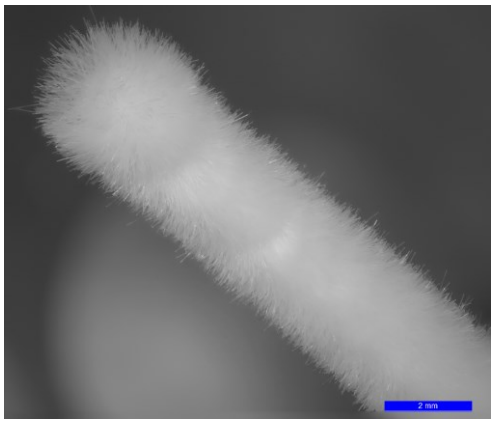


Figura 3. Extremo distal CM-FS915.

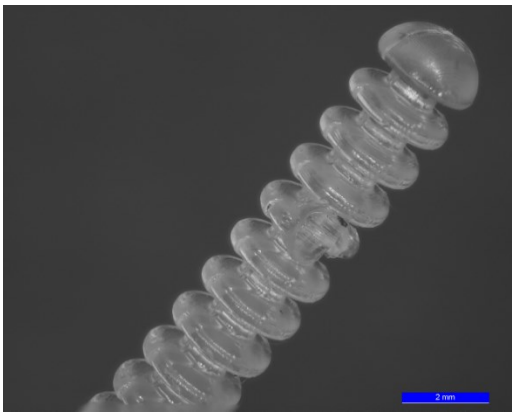


Figura 4. Extremo distal prototipo.

2.2. Ensayos Mecánicos

Para evaluar la respuesta mecánica a la tracción fueron ensayados especímenes prototipo esterilizados y comparados con el HNF de control utilizando como referencia la norma ASTM D638. Para evaluar la respuesta mecánica a la flexión se efectuaron ensayos con deformación controlada por desplazamiento del extremo distal, observando restitución elástica completa. La fuerza transversal de equilibrio en los respectivos estados de deformación se utilizó para comparar la rigidez de los Prototipos respecto al Control. Adicionalmente se efectuó un ensayo de flexión pura con deformación controlada por un radio de curvatura de 15mm, a partir del cual se observó la magnitud del estado de deformación permanente. Para evaluar la respuesta de los prototipos ante un estado de torsión flexión-alternativa se utilizó una configuración de viga rotante con deformación controlada por la pendiente en el extremo distal. La capacidad de carga a compresión se evaluó permitiendo solo la rotación de uno de los extremos, simulando las restricciones durante el acceso y tránsito hacia la nasofaringe. La magnitud de la fuerza de compresión fue adquirida mientras se controla el desplazamiento, el primer máximo registrado se asocia con la bifurcación al modo de flexión (pandeo). En los prototipos inyectados con PP (protoformas 1, 2 y 3) se obtuvieron fuerzas críticas de hasta un 33% por debajo del control.

2.3. Ensayos Preclínicos

En los ensayos preclínicos se realizó la evaluación in vitro de la cantidad de muestra capturada, su elución en el medio de transporte microbiológico y la no inhibición de las pruebas RT-PCR. La capacidad de adsorción en in vitro fue utilizada como indicador de la eficacia en la captura de muestra biológica y permitió evaluar el desempeño de los HN prototipos en relación con el control, sin la variabilidad introducida por sitio anatómico. Los ensayos de compatibilidad RT-PCR permiten la detección de inhibidores presentes en la MP o incorporados durante el proceso de fabricación.

La capacidad de adsorción fue calculada a partir de la diferencia entre la tara y el peso bruto de cada HN, luego de estar en contacto con una substancia de comportamiento efectivo similar a la muestra biológica simulada [7]. Debido a que el diseño experimental in vitro no reproduce las restricciones de espacio del sitio anatómico, la capacidad determinada mediante este procedimiento no es representativa del desempeño de los HN ensayados. El análisis comparativo de la capacidad de recolección relativa de los HNM prototipos se muestra en la Figura 5.

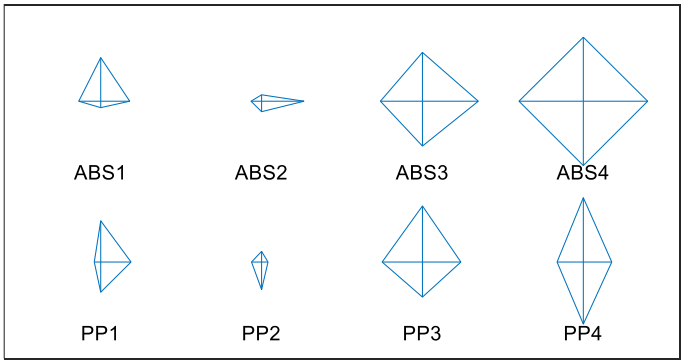


Figura 5. Comparación de la masa capturada por prototipo.
Dimensiones: izq. Gel 75%; der. Agua; sup. Sol. Abuff.; inf.: Gel.

3. Discusión

En los ensayos clínicos de fase cero se evaluó comparativamente el desempeño del HNM prototipo y el HNF de control CM-FS915 (ANMAT: PM-1292-34) en términos de uso, adaptación al sitio anatómico, eficacia en la captura de muestra y compatibilidad con la técnica utilizada en el diagnóstico de COVID-19. En el diseño experimental se realizaron

hisopados apareados siguiendo el protocolo usual en la toma de muestras, en los cuales cada paciente es intervenido exclusivamente con un (1) HN control en una de las fosas nasales y un (1) HN prototipo en la restante (Tabla 1), minimizando la sobre representación de las poblaciones por HN prototipo y fosa nasal. A partir de los resultados obtenidos se realizó la evaluación del desempeño de los HNM en términos de uso, adaptación al sitio anatómico, eficacia en la captura de muestra y compatibilidad con la técnica RT-PCR utilizada en el diagnóstico de COVID-19.

Para la ejecución de las pruebas se realizó una convocatoria pública con un total de sesenta y un (61) voluntarios participantes. El total de los voluntarios participaron en el ensayo de confort, diecisiete (17) de los cuales fueron seleccionados para realizar la prueba RT-PCR SARS-CoV-2 y por lo tanto excluidos del ensayo de captura in vivo.

Tabla 1. Hisopos nasofaríngeos empleados en las pruebas clínicas.

Hisopo	**Especificaciones**
Prototipo	Protoforma 3 cPP/hPP
Control	CM-FS915, ANMAT: PM-1292-34

3.1. Ensayo de Confort

El nivel de confort del prototipo fue evaluado a partir de la percepción del dolor por parte del paciente en la fosa nasal intervenida. En las encuestas la percepción de dolor fue calificada en orden creciente según: leve, moderado e intenso. La frecuencia de percepción de dolor fue similar en ambos HN (control 41 – prototipo 34), mayormente de nivel leve (control 36 - prototipo 30) sin casos de dolor intenso y favorable al prototipo en todos los niveles. La concordancia del confort por paciente se muestra en la matriz (C) de la Figura 6, allí se observa que el acuerdo observado entre hisopos es bajo (30/61= 0.49) con un acuerdo aleatorio de similar magnitud (0.44, bajo κ), atribuible al carácter excluyente de la fosa nasal intervenida con el Prototipo y el Control (izquierda o derecha).

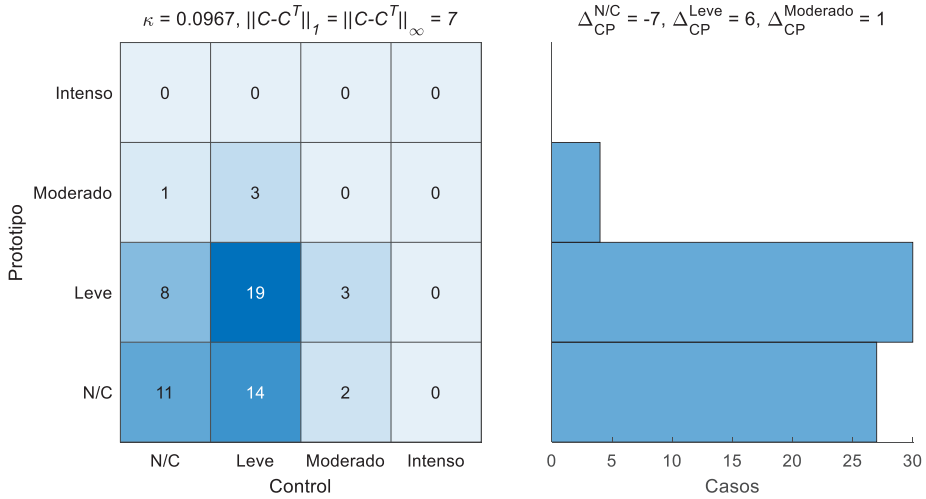


Figura 6. Nivel de dolor: concordancia (izq), histograma (der.).

3.2. Ensayo de Captura *in Vivo*

En el ensayo de captura in vivo se realizó la medición de la masa capturada mediante diferencia de pesada luego de la intervención. Los resultados muestran que en promedio el Prototipo obtiene aproximadamente un 50% de la masa capturada por el Control (Figura 7). En particular se observa la baja correlación (r^2= 0.01) entre la masa capturada por el Control y Prototipo (Figura 7 izq.).

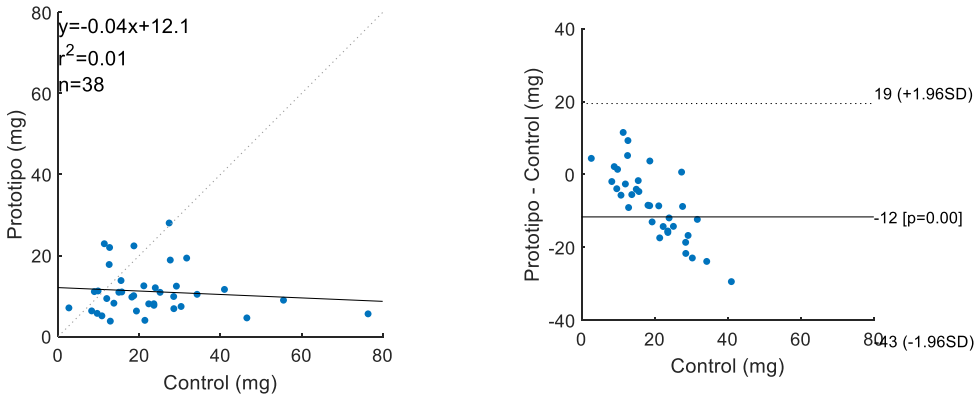


Figura 7. Masa capturada in vivo: correlación (izq.); Bland-Altman (der.).

3.3. Prueba RT-PCR

En la ejecución de las pruebas apareadas RT-PCR, tanto el extremo distal del prototipo esterilizado (EO) como el control fueron sumergidos en 2mL de solución fisiológica 0.9% y mantenidos por debajo de 8°C hasta el envío al laboratorio responsable de las pruebas. Las muestras apareadas fueron analizadas dentro de las 24hs. de realizada la intervención empleando la prueba cobas® SARS-CoV-2 para su uso en Roche cobas® 6800 Systems (Tabla 2). En este sistema tanto la preparación de muestras, extracción y purificación de ácidos nucleicos, como el proceso de amplificación y detección se encuentran automatizados.

Los resultados de las pruebas RT-PCR sobre las muestras clínicas obtenidas con ambos hisopos, mostraron completo acuerdo en los ensayos cualitativos para la detección del SARS-CoV-2 empleados por el sistema Roche cobas® 6800 (Tabla 3). La amplificación (Ct) del IC en las muestras obtenidas no presenta una diferencia estadísticamente significativa entre prototipo y control, ni un corrimiento respecto de [+]Ctrl y [-]Ctrl, indicando la no inhibición de la prueba cobas® SARS-CoV-2. El análisis estadístico de los casos positivos muestra correlación significativa en la amplificación (Ct) de las regiones objetivo para la detección especifica de SARS-CoV-2 (Figura 8) y de pan-Sarbecovirus (Figura 9).

Tabla 2. Estimación de la sensibilidad media de la prueba cobas® SARS-CoV-2.

LoD (NDU/mL)*	Desarrollador	Prueba autorizada**
1800	Roche Molecular Systems, Inc. (RMS)	cobas SARS-CoV-2

(*) Limit of detection of nucleic acid amplification testing detectable units. (**) FDA: EUA200009/A001.

Tabla 3. Concordancia de la prueba cobas® SARS-CoV-2.

ORF1ab /Gen-E		**Prototipo**	
		Detectable [+]	No detectable [-]
Control	Detectable [+]	**7***	0
	No detectable [-]	0	**10***

(*) Completo acuerdo por paciente.

Tabla 4. Amplificación (Ct) de targets cobas® SARS-CoV-2.

Target	**Control Ct**		**Prototipo Ct**	
	Media muestral	95% CI	Media muestral	95% CI
ORF1ab*	27.98	[23.41, 32.55]	28.99	[23.01, 34.98]
Gen-E**	28.78	[23.83, 33.73]	30.12	[23.37, 36.87]
IC***	33.86	[33.37, 34.35]	33.63	[33.35, 33.91]

(*) N=7; [+]Ctrl Ct = 33.34. (**) N=7; [+]Ctrl Ct = 35.08. (***) N = 17; [+/-]Ctrl Ct = 33.38/33.60.

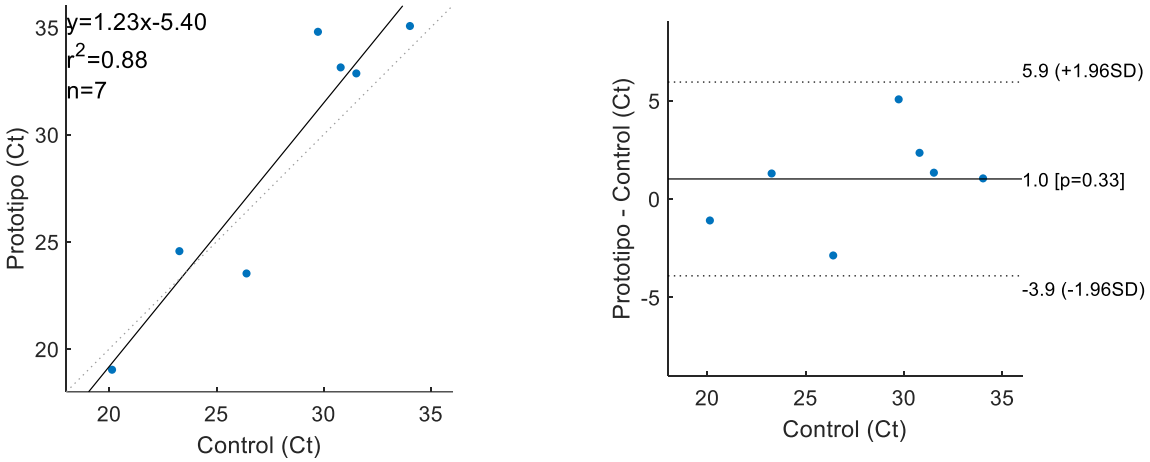


Figura 8. ORF1 ab Ct: correlación (izq.); Bland-Altman (der.).

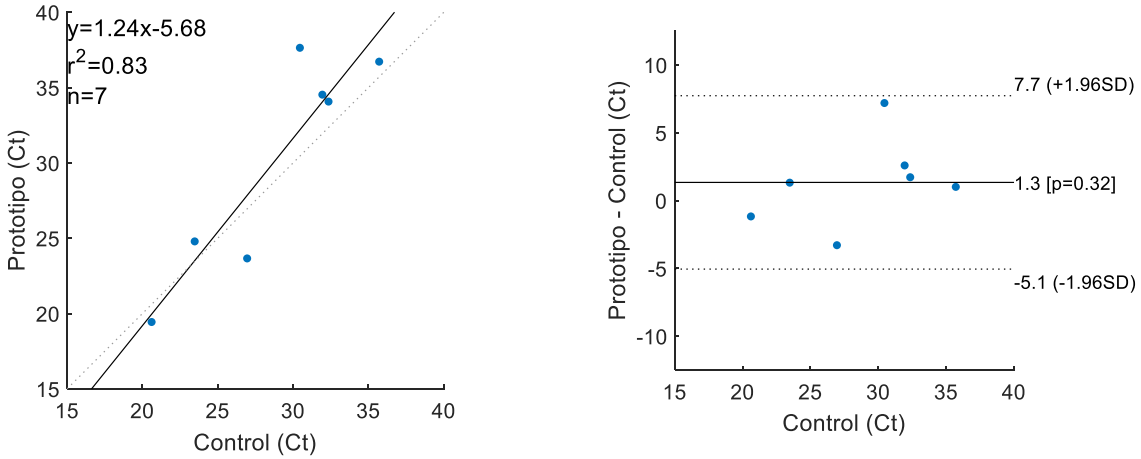


Figura 9. Gen-E Ct: correlación (izq.); Bland-Altman (der.).

4. Conclusiones

El producto desarrollado posibilita la fabricación nacional de un insumo crítico, desvinculando al país de la oferta externa ante una situación que presenta, en simultaneo, una demanda interna extraordinaria y debilidad de las cadenas de suministro a escala mundial. PSA ha iniciado el trámite de registro del producto HNM en la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). El mismo se ha inscripto bajo emergencia sanitaria COVID-19 como producto clase I-II y actualmente se encuentra en revisión. Las actividades desarrolladas contaron con el apoyo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación (MinCyT) y motivaron la creación del consorcio PSA-UNLP

La FDA [11] provee recomendaciones para la validación de hisopos no tradicionales, en particular orientadas a hisopos monolíticos obtenidos por manufactura aditiva [12]. Respecto a las pruebas clínicas la NIH [13], recomienda incluir un mínimo de 30 muestras positivas y un mínimo de 30 muestras negativas. Agrega que la prueba podría llevarse a cabo en un diseño de experimento apareado molecular (PCR) o detección de antígeno y debe cumplir con una efectividad mínima del 95% tanto en los casos positivos como negativos.

5. Referencias

[1] "Interim Guidelines for Clinical Specimens for COVID-19 | CDC." https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-nCoV/lab/guidelines-clinical-specimens.html (accessed Feb. 21, 2021).

[2] FDA, "Establishment Registration & Device Listing," pp. 12–13, 2013, Accessed: Feb. 21, 2021. [Online]. Available: https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfRL/rl.cfm.

[3] A. Kline *et al.*, "Dacron swab and PBS are acceptable alternatives to flocked swab and viral transport media for SARS-CoV-2," *Diagn. Microbiol. Infect. Dis.*, vol. 99, no. 1, p. 115209, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2020.115209.

[4] ANMAT, "Helena - Productos Médicos v2.0.0.0." https://helena.anmat.gob.ar/Boletin/ (accessed Feb. 21, 2021).

[5] R. Novak, "Wyss Institute Injection Molded Nasopharyngeal Swab Summary." Correspondencia privada sin publicar, 2020.

[6] K. Shaw *et al.*, "Comparison of the effects of sterilisation techniques on subsequent DNA profiling," *Int. J. Legal Med.*, vol. 122, no. 1, pp. 29–33, 2008, doi: 10.1007/s00414-007-0159-5.

[7] S. K. Lai, Y. Y. Wang, D. Wirtz, and J. Hanes, "Micro- and macrorheology of mucus," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 61, no. 2. Adv Drug Deliv Rev, pp. 86–100, Feb. 27, 2009, doi: 10.1016/j.addr.2008.09.012.

[8] N. Gallup, A. M. Pringle, S. Oberloier, N. G. Tanikella, and J. M. Pearce, "Parametric nasopharyngeal swab for sampling COVID-19 and other respiratory viruses: Open source design, SLA 3-D printing and UV curing system," *HardwareX*, vol. 8, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.ohx.2020.e00135.

[9] O. Lafforgue, N. Bouguerra, S. Poncet, I. Seyssiecq, J. Favier, and S. Elkoun, "Thermo-physical properties of synthetic mucus for the study of airway clearance," *J. Biomed. Mater. Res. - Part A*, vol. 105, no. 11, pp. 3025–3033, Nov. 2017, doi: 10.1002/jbm.a.36161.

[10] S. A. I. Global, F. Iso, and C. License, "Biological evaluation of medical devices - Part 1: Evaluation and testing within a risk management process (ISO 10993-1:2009)," vol. 44, 2000, Accessed: Feb. 20, 2021. [Online]. Available: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10993:-1:ed-5:v2:en.

[11] United States Food and Drug Administration, "COVID-19 Test Settings: FAQs on Testing for SARS-CoV-2," 2020. https://www.fda.gov/medical-devices/coronavirus-covid-19-and-medical-devices/faqs-testing-sars-cov-2#swab (accessed Feb. 20, 2021).

[12] Food and Drug Administration, *Technical Considerations for Additive Manufactured Medical Devices:Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff Document*. 2017.

[13] "COVID-19 | NIH 3D Print Exchange." https://3dprint.nih.gov/collections/covid-19-response/nasal-swabs (accessed Feb. 20, 2021).

ANÁLISIS DE FRACTURA DE BULONES DE TRUNNION PIN DE TURBINA DE GAS DE UNA GENERADORA TERMOELÉCTRICA

P.F. Bonvicini Menéndez, J.M. Echarri, C.L. Llorente, P.D. Bilmes, J.A. Martínez.

Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física (LIMF), Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Facultad de Ingeniería UNLP, calle 1 y 47, B1900TAG, La Plata, Argentina.
*Correo Electrónico (autor de contacto): pablo.bonvicini@ing.unlp.edu.ar

El trabajo consiste en realizar el análisis de fractura y la caracterización del material de dos bulones que fallaron en servicio en el soporte de una turbina de gas pertenecientes a una central de generación termoeléctrica. Para ello se plantea la realización del análisis fractográfico y la caracterización microestructural mediante microscopía óptica y electrónica de barrido analítica, como así también la caracterización de las propiedades mecánicas y composición química del material. A partir de los análisis realizados se considera que las fracturas de los dos bulones ocurrieron por un mecanismo de corrosión-fatiga, a causa de un ataque corrosivo por oxígeno en solución acuosa salina. Los bulones analizados se corresponden con aceros de medio carbono al Mo del tipo de los especificados SAE J429, cumpliendo con el grado 8.

Palabras Clave: Fractura, Bulones, Corrosión-Fatiga

INTRODUCCIÓN

Los bulones de alta resistencia se usan ampliamente en ingeniería para todo tipo de uniones mecánicas. Las conexiones con pernos de alta resistencia son comunes en el montaje de estructuras de acero y muchas veces, en servicio, se encuentran sometidos a vibraciones o condiciones de carga cíclicas, dilatación de componentes en unión, jugando un rol fundamental en la transmisión de esfuerzos entre partes solidarias, en la integridad del componente y en el desempeño del conjunto o maquinaria.

De la inspección de bulones de soporte de una turbina de gas (TG) se detecta la rotura de 4 de estos en el soporte izquierdo identificado como *Trunnion Pin* (*pasador de muñon*), que es la pieza que vincula el anillo de carcaza de turbina del lado posterior y el pilar soporte. Esta pieza le permite el movimiento por dilatación de la carcasa de TG y soporta la carga vertical.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Sobre los bulones fracturados en servicio se realizaron los siguientes estudios:

- Análisis químico, mediante espectroscopía de emisión óptica (*OES*)
- Caracterización microestructural mediante microscopía óptica (*MO*).
- Inspección visual y análisis macrográficos sobre los elementos recibidos.
- Análisis fractográfico mediante microscopía electrónica de barrido (*SEM*) y análisis químico elemental sobre los productos de corrosión encontrados, mediante espectroscopía dispersiva en energías (*EDS*).
- Ensayo de dureza Rockwell

Caracterización química, microestructural y propiedades mecánicas

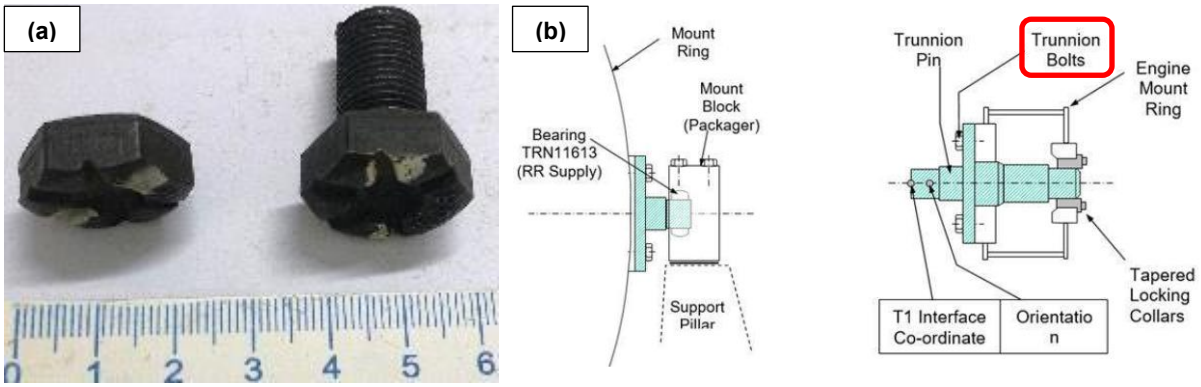


Figura 1 (a) *Fotografías de recepción de los bulones (izq.) fractura en cambio de sección cabeza-vástago (**CF**) (der.) fractura en rosca (**BF**).* ***(b)*** *Detalle de soporte posterior de TG y montaje de todas las piezas. Los bulones analizados son los indicados como* ***Trunnion Bolts***

En la Tabla 1 se presenta el análisis químico elemental del material correspondiente a los dos bulones ensayados. Se corresponden con aceros de medio carbono al Mo comprendido dentro de la norma SAE J429, Gr 8.

Tabla 1 *Análisis químico elemental por OES de las muestras ensayadas (%wt.)*

Id.	*C*	*Si*	*Mn*	*P*	*S*	*Cr*	*Mo*	*Ni*	*Fe*
BF	0,41	0,24	0,84	0,025	0,010	0,09	0,23	0,06	Bal.
CF	0,42	0,25	0,87	0,026	0,010	0,09	0,24	0,06	Bal.
SAE J 429 Gr. 8	0,28-0,55			0,04 max	0,045 max				

(Espectrómetro marca Oxford Instruments, *2013– Germany*)

En la figura 2 se presentan micrografías ópticas de la microestructura representativa de cada bulón. La microestructura observada se compone de martensita revenida, típica de un acero de baja aleación para esta clase de componente.

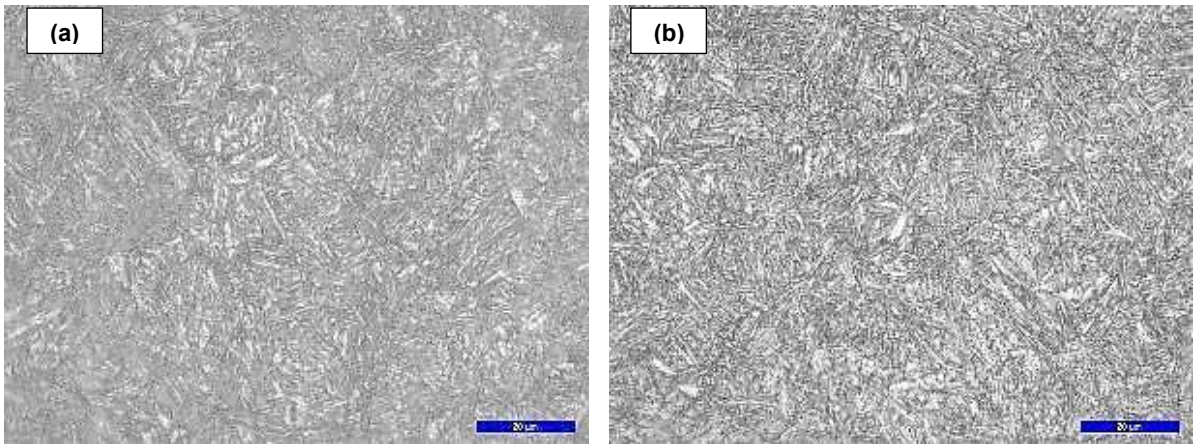


Figura 2 *Metalografía longitudinal (a) BF (b) CF. Micrografía óptica de campo claro. 1000x (regla 20 μm). Reactivo de ataque Nital 2%*

En la **Tabla 2** se presentan los resultados del ensayo de durezas Rockwell C (promedios de cinco determinaciones). Los mismos cumplen con lo especificado en SAE J429 Gr. 8 para los grados correspondientes a los bulones especificados.

Tabla 2 *Valores de Dureza Rockwell C para los bulones ensayados*

Id.	*BF*	*CF*	*SAE J429 Gr.8*
HRC[1]	*35*	*35*	*32-38*

([1]Durómetro BSG DL 171)

Los resultados hallados en términos de microestructura y composición química se encuentran en concordancia con los valores de propiedades mecánicas para el tipo de componente analizado.

Análisis fractográfico

En la Figura 3-a y c se muestra la superficie de fractura del Bulón BF. Se observan múltiples inicios de fisuración por fatiga (marcas *Ratchet Marks*-RM tipo pliegues, indicadas con flechas rojas) en la raíz del filete de la rosca a lo largo de la periferia, con presencia de restos de productos de corrosión. En la Figura 3-b y d se muestra la superficie de fractura de la cabeza de bulón CF. Se evidencia una zona relativamente lisa que se considera asociada al inicio de fractura (en amarillo sobre Figura 3-b), con presencia de sitios de iniciación de fisuración por fatiga (*RM, indicado con flechas rojas en* Figura 3-d) y restos de productos de corrosión. Las fractografías MEB (Figura 5) sobre la zona lisa de ambos bulones evidencia la presencia de estrías en la superficie, asociadas a la propagación de fisuras por fatiga.

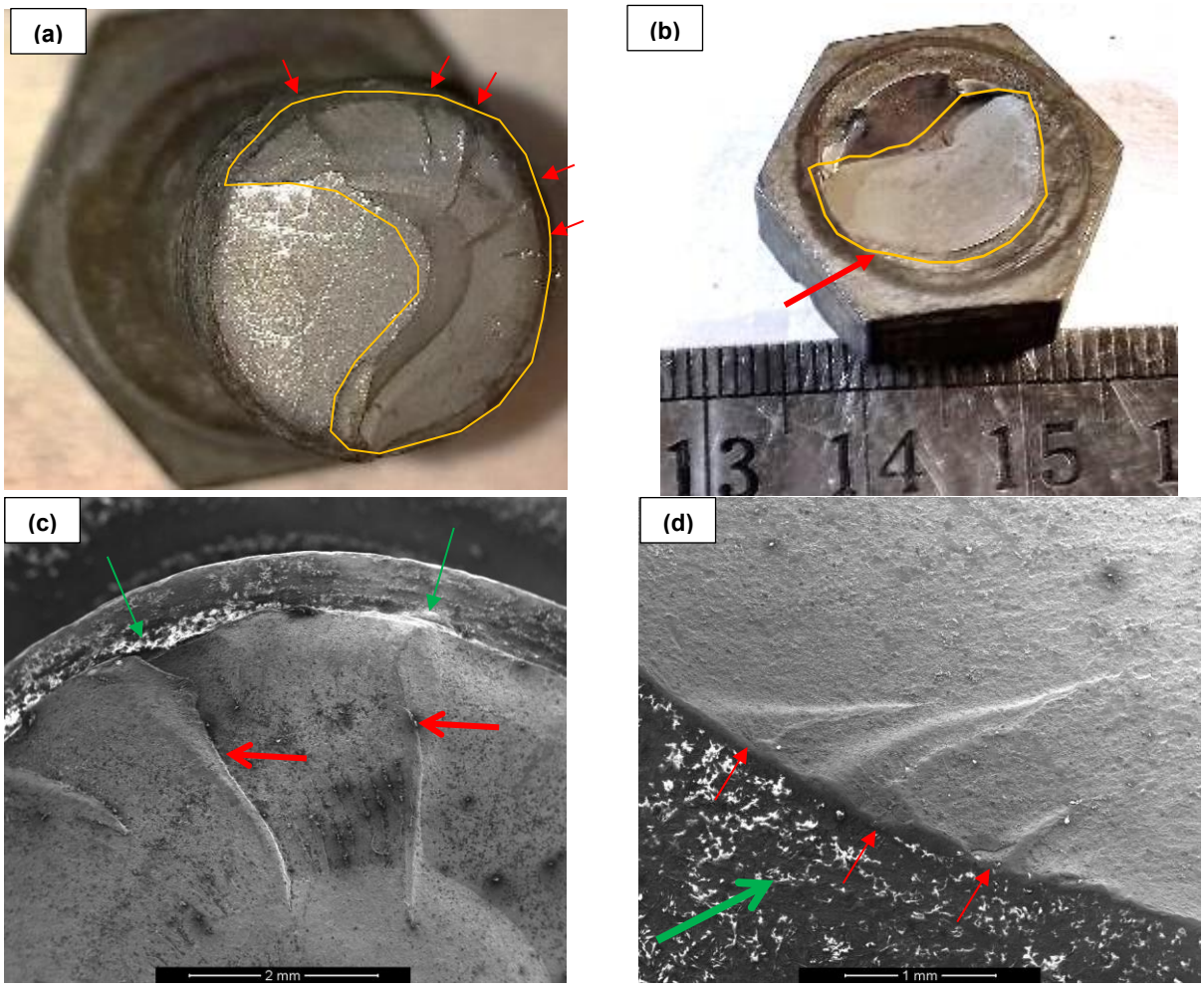


Figura 3 *Fotografías de la superficie de fractura (a) BF (b) CF. Fractografías MEB: (c) mostrando los restos de productos de corrosión en las zonas de inicio de fatiga (color blanco en la figura, flechas verdes) y las RM (flechas rojas); (d) de la zona indicada por flecha roja en figura (b) donde se aprecian restos de productos de corrosión (blancos en la figura, flecha verde) y donde se señalan con flechas rojas las Ratchet Marks (montículos como pliegues) de iniciación de fisuración por fatiga.*

Analizando a mayores aumentos mediante MEB en el bulón BF, sobre las zonas de inicio de fisuras donde están las RM, se encuentra que la raíz del filete tiene numerosos pits de corrosión (Figura 4-a) desde donde nuclearon las RM de fatiga. El análisis de la zona periférica al inicio sobre el bulón CF (Figura 3-d) revela que el radio de acuerdo y asiento de la cabeza tiene gran cantidad pits de corrosión y presencia de fisuras (*típico de daño por corrosión–fatiga*), Figura 4-b. Se observa como este mecanismo de corrosión por picado produjo por efecto de concentración de tensiones, Ratchet Marks-RMs de inicio de fractura por fatiga en la periferia del filete-cabeza del bulón (indicado con flechas rojas en la Figura 4-b).

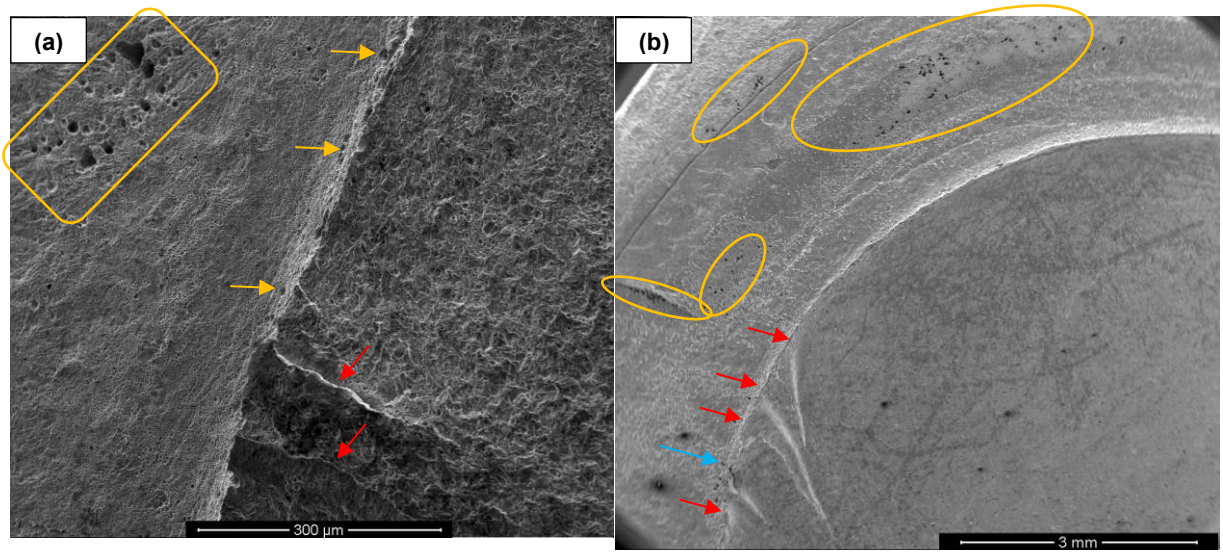


Figura 4 *Fractografías MEB (a) 400x, superficie raíz de filete de bulón BF, donde se pone en evidencia la presencia de pits de corrosión (flechas y recuadros amarillos), asociados a la presencia de Ratchet Marks (flechas rojas) de iniciación de fisuración por fatiga (b) 40x de bulón CF. Se evidencia la presencia de numerosos pits de corrosión (elipses amarillas), sobre todo alrededor de las marcas de inicio de fatiga RMs (en rojo en la figura), junto con presencia de fisura de fatiga (flecha celeste).*

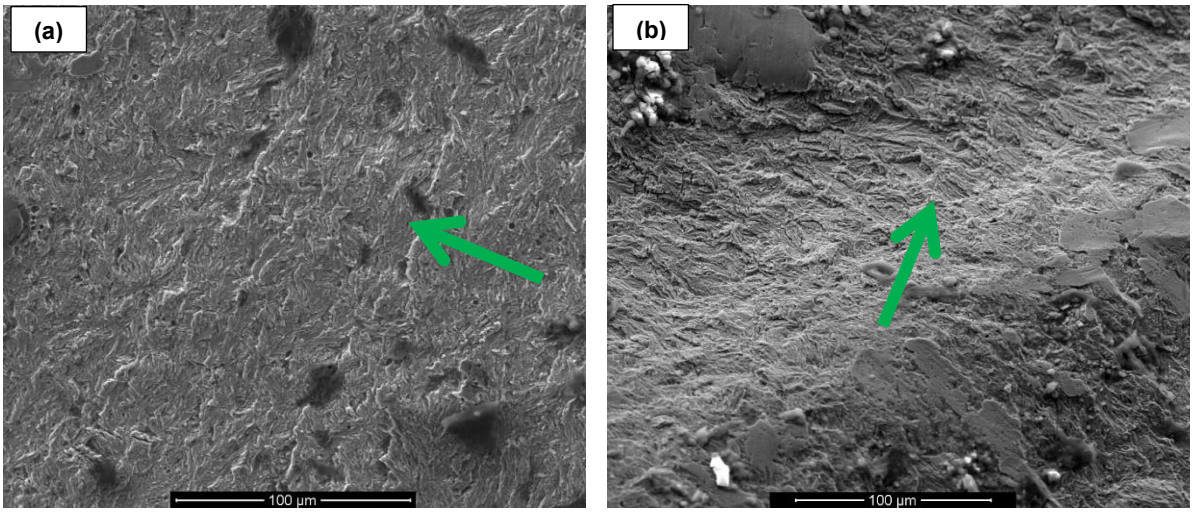


Figura 5 *Fractografía MEB 1000x (a) BF y (b) CF, donde se observan numerosas estriaciones de fatiga sobre la superficie de fractura (asociadas al avance del frente de fractura).*

El análisis de los productos de corrosión de ambos bulones reveló presencia mayoritaria de O-Fe y trazas de elementos asociados a sales (Cl, Na, S, K, Ca), ver espectros Figura 6; lo cual permite inferir la acción de una corrosión por oxígeno en solución acuosa salina.

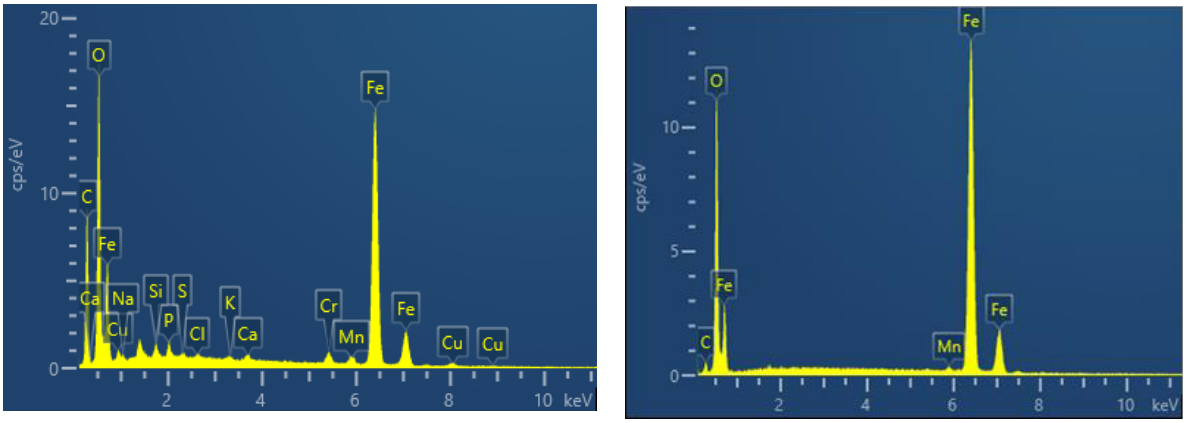


Figura 6 *Espectros EDS sobre productos de corrosión.*

Las metalografías próximas a la superficie de fractura y en los filetes de la rosca de ambos bulones (Figura 7 y Figura **8**) dan cuenta de la presencia de pits de corrosión y fisuras. No se observa descarburación superficial. Las morfologías de las fisuras, con presencia de productos de corrosión, evidencian el mecanismo de *corrosión-fatiga* que dio lugar a su fractura: el medio ambiente agresivo-corrosivo produce corrosión localizada en forma de pits de corrosión sobre el acero, estos concentran tensiones y nuclean fisuras de fatiga que luego propagan conectándose a través de los pits en los flancos de las roscas. Luego, un frente de fractura de fatiga transversal a la sección de los bulones progresa hasta alcanzar el tamaño crítico de fisura; y finalmente ocurre la rotura final por corte por sobrecarga. Cabe destacar que las fisuras son casi rectas, continuas, sin ramificaciones y con presencia de productos de corrosión (*característica típica de la corrosión-fatiga*).

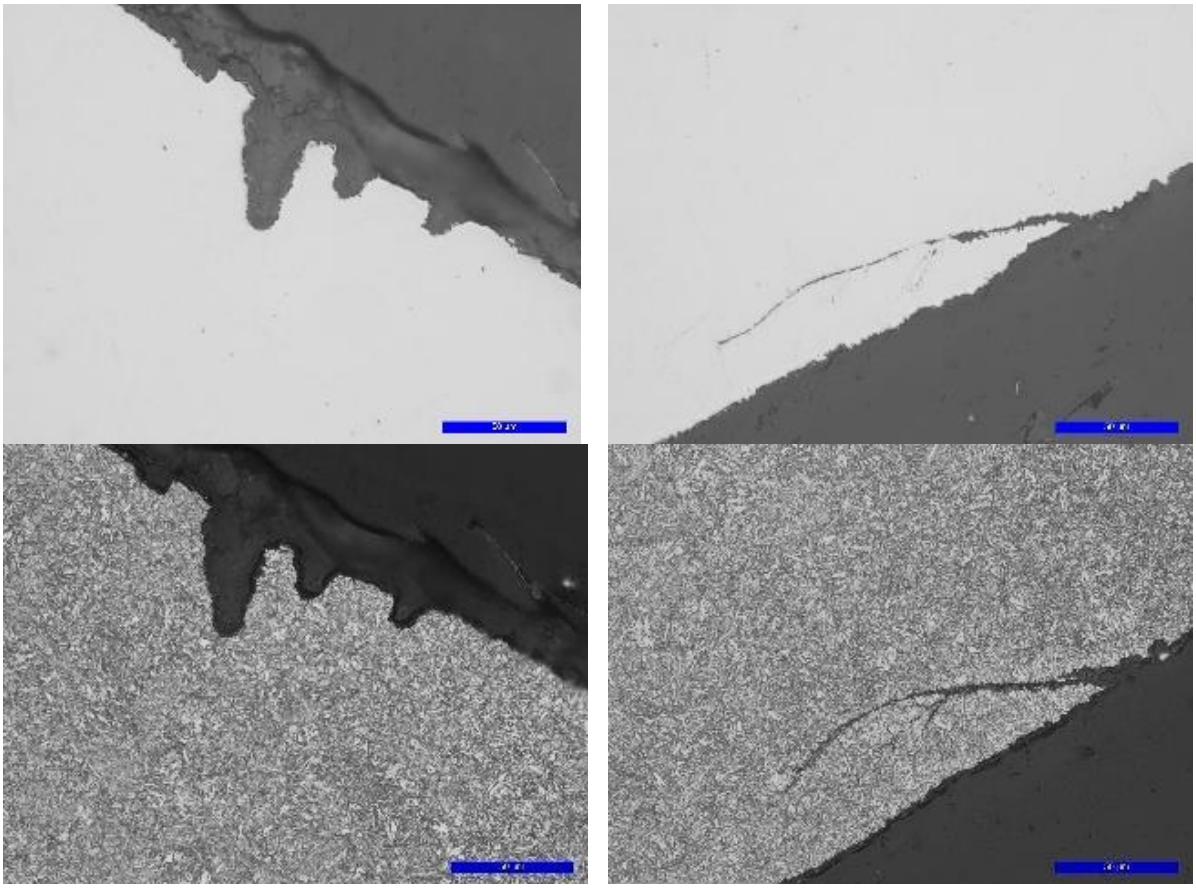


Figura 7 *Metalografía longitudinal sin y con ataque sobre la cresta de los filetes de la rosa; BF (500x). Detalle de presencia de pits de corrosión y fisura (con productos de corrosión en su interior).*

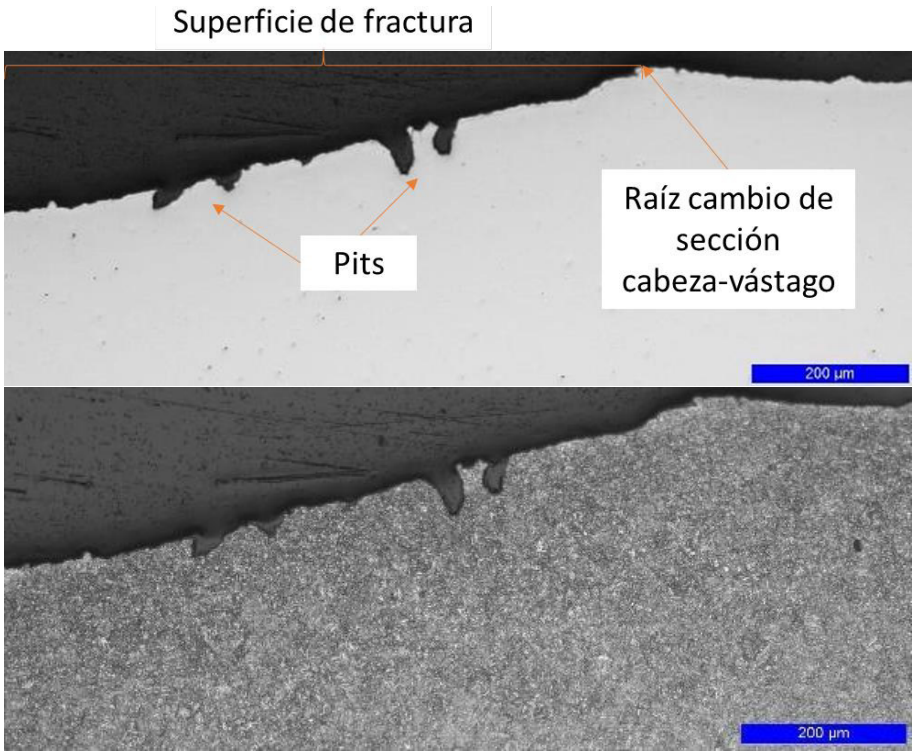


Figura 8 *Metalografía longitudinal sin y con ataque CF. Pits de corrosión en las cercanías de la raíz del cambio de sección cabeza-vástago. 100x*

CONCLUSIONES

A partir de los análisis realizados se considera que las fracturas de los dos bulones ocurrieron por un mecanismo de corrosión-fatiga. La sucesión de eventos a través de este mecanismo de daño se puede inferir y describir de la siguiente manera: a partir de un medio corrosivo en el que estuvieron los bulones en servicio bajo carga, los mismos sufrieron ataque corrosivo localizado en forma de pits de corrosión (*corrosión por oxígeno en solución acuosa salina*). Estos concentran tensiones y nuclean fisuras de fatiga que luego propagan conectándose a través de los pits en los flancos de las roscas. Luego, un frente de fractura de fatiga transversal a la sección de los bulones progresa hasta alcanzar el tamaño crítico de fisura; y finalmente ocurre la rotura final por corte por sobrecarga.

Los bulones fracturados se corresponden con aceros de medio carbono del tipo de los especificados en SAE J429, cumpliendo con el Gr 8. Para prevenir estas formas de daño en este tipo de bulones se recomienda en su instalación verificar limpieza, ausencia de humedad; y lubricarlos con disulfuro de molibdeno. Asimismo, inspeccionar periódicamente las uniones verificando que estén libres de humedad y depósitos de suciedad.

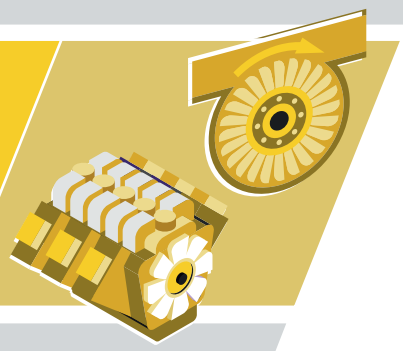
BIBLIOGRAFÍA

[1] Metals Handbook: Volume 11 Failure Analysis and Prevention, American Society of Metals, ninth ed., Metals Park, OH, 2002.

[2] SAE J429:2014 Mechanical and Quality Requirements for Externally Threaded Fasteners

[3] Lachowicz, M. B., & Lachowicz, M. M. (2021). Influence of corrosion on fatigue of the fastening bolts. Materials, 14(6), 1–17. https://doi.org/10.3390/ma14061485

MECÁNICA



PERFILES DE ACERO DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CONFITERÍA DEL MOLINO.

ALGO DE HISTORIA

Ernesto. G. Maffia****, Cecilia Alvarez**, Maria. F. Becerra*** Alfredo C. González**, Juan M Miño*,

*Alumno de la Carrera de Ingeniería en Materiales-Facultad de Ingeniería-UNLP
**Docente-Investigador de la Facultad de Ingeniería- UNLP
***Investigadora CONICET
**** Prointec I&D, depto. de Mecánica, facultad de Ingeniería (ernesto.maffia@ing.unlp.edu.ar)

Palabras claves: acero, estructuras, edificios históricos.

INTRODUCCIÓN

A comienzos del siglo XX, en la Ciudad de Buenos Aires, comienza la construcción de edificios de gran porte entre los que se destacan la Confitería del Molino y la Galería Güemes. En ellos se aplicaron técnicas constructivas novedosas para la época y se comenzó a utilizar el hormigón armado. [1]

La historia de los comienzos de la confitería y el despacho de pan “El Molino” se remonta al año 1848, originalmente situada en la intersección de Rodríguez Peña y Rivadavia. Adquiere el nombre definitivo de Confitería del Molino hacia 1859. Años después, este local es comprado por un joven pastelero de nombre Gaetano Brenna, con la intención de destacarse en el mercado local de la panificación y pastelería. Con el correr de los años y atraído por la construcción del monumental edificio del congreso a pocos pasos de su local, G. Brenna adquiere varias propiedades en la esquina de Rivadavia y Callao para trasladar su confitería. Así, en 1903 compra la propiedad de Rivadavia 1801 que constaba de planta baja y dos pisos de altura; en 1909 compra el edificio colindante de Callao 32, un inmueble de planta baja y cinco pisos de alto y finalmente en 1914, compra el galpón de Rivadavia 1815. Brenna percibió las transformaciones que sufría la ciudad de Buenos Aires y su visión fue integrar sus propiedades al boulevard de la Avenida de Mayo, uno de los escenarios más calificados de la trama urbana de Buenos Aires. La reforma debía unificar los tres inmuebles en una única estructura arquitectónica y además culminar en 1916 para coincidir con el centenario de la independencia. El proyecto debía fusionar la construcción nueva de Callao 32 con el comercio de planta baja de la esquina, además de un crecimiento sobre la misma y cuya altura seria determinada por el edificio preexistente. Su aspecto exterior debía simbolizar la figura del molino, emblema que definía a la empresa pastelera desde sus orígenes y, además, emitir un mensaje alusivo al centenario [1]. En definitiva, la construcción de la Confitería del Molino, tenía como objetivo convertir a esta, en un símbolo de la ciudad de Buenos Aires.

Se le encargó al arquitecto Francesco Gianotti la dirección de una obra difícil debido a que la premisa del propietario era construir la nueva confitería sin alterar el funcionamiento de la ya existente. Con esta restricción, F. Gianotti se ve obligado a implementar un novedoso método constructivo, el que consistió en colocar en el sótano y pisos inferiores, una estructura de acero. Luego sobre esa base, desarrolla los pisos superiores y cúpula, construida en hormigón armado. [2] Además de lo novedoso en lo estructural, la fachada del edificio también debía ser motivo de distinción. Entonces, se plasmó en su fachada exterior el estilo arquitectónico Art Nouveau, el cual también fue aplicado en la galería Güemes. El Art Nouveau fue un movimiento artístico de cambio del siglo XIX que nace en Bélgica en 1893 y se impuso rápidamente en arquitectura y

en el diseño. Esta corriente llego a la Argentina a principios del siglo XX y los edificios que se construyeron basados en esta corriente de pensamiento, exhibieron un estilo jovial, moderno y más libre de las reglas clásicas. La particularidad del estilo Art Nouveau en Argentina, es que los inmigrantes pudieron expresar su oposición al academicismo francés, que caracterizaba a la burguesía local [3, 4].

1.1. El acero en la construcción de la Confitería del Molino

La principal empresa que se destacó en la construcción las más importantes obras del momento, fue a empresa GEOPE (Compañía General de Obras Públicas S.A) creada en 1913 y la cual era una filial de la empresa alemana Philip Holzmann. GEOPE se destacaba por la realización de estructuras de hormigón armado, la cual es una técnica constructiva que propone realizar un “bloque de hormigón y reforzarlo interiormente por una armadura de barras de hierro o acero; una vez que el hormigón ha fraguado, el conjunto absorbe los esfuerzos a los que queda sometido” [5].

A pesar de la importancia de las construcciones realizadas por la empresa GEOPE, tales como Confitería del Molino, Galería Güemes realizadas en la Ciudad de Buenos Aires, como así también, en el desarrollo constructivo de la época de muchos edificios históricos de la Ciudad de La Plata, con la tecnología del hormigón armado, sin embargo, es muy poco lo que se conoce sobre el origen y calidad de los aceros empleados en sus construcciones. Para esa época en el país no había empresas que fabricaran los insumos de acero necesarios para la realización de las estructuras mencionadas.

Los principales productores de acero del momento eran, Inglaterra y Alemania, que para la época contaban con la tecnología de fabricación y la mano obra necesaria. Como ejemplo de la época podemos citar a la acería Dorman-Long (Inglaterra), Gutehoffnungshutte (GHH), Rombach Krupp, y Rundingen (Alemania), entre otras. La empresa británica Dorman-Long enviaba productos metálicos a la Argentina y otros lugares del mundo. En 1914 esta empresa era una de las más importantes productoras británicas de acero y parte de sus productos conformaron la estructura de la Confitería del Molino [6].

1.2. La industria del acero en Europa a principios del siglo XX

Los aceros empleados en la construcción de edificios a principio del siglo XX provenían de Europa, es así que en el relevamiento realizado en las estructuras de la Confitería del Molino se encontraron perfiles provenientes de las empresas arriba indicadas.

Dorman Long fue una compañía fabricante de acero situada en el noroeste de Inglaterra. Sus productos principales eran aceros para la construcción de puentes, y los más famosos fueron el SydneyHarbour Bridge (1932), el Tyne Bridge (1928, Reino Unido), el Tees Newport Bridge (1934, Reino Unido) y el Omdurman Bridge (1926, Sudán). A comienzos de 1900 la empresa se expande e incrementa la variedad de productos. Se cambia el tipo de hornos de fundición, utilizando los hornos de hogar abierto (del fabricante Siemens-Martin), los cuales eran muy versátiles. Con ellos se lograba disminuir los costos de fabricación, pues se podían alimentar, además del arrabio, con chatarra; además se incorporaron trenes de laminación para todas las formas de productos estructurales (L, U y doble T), talleres de fabricación de puentes y estructuras para edificios y secciones donde se laminaban productos planos y otras secciones donde se fabricaban rieles y alambres. [7,8]

Otra de las acerías importantes de Alemania que enviaba productos estructurales a la Argentina era la sociedad Rombach. Esta empresa contaba con talleres en Bélgica (Zebrugge) y Francia (Maizieres y Rombach). Este grupo extraía la cantidad de

2.500.000 toneladas (t) de minerales, fabricaba 800.000 t de lingotes de arrabio y 650.000 t de acero, empleando 7000 operarios. También se encontraba en Alemania la compañía Gutehoffnungshutte (GHH), la cual tenía su sitio principal en Oberhausen y sucursales en Gelsenkirchen. Esta empresa fabricaba y enviaba a la Argentina acero laminado, maquinaria, puentes, etc. [9].

1.3. La industria del acero en Argentina a fines del siglo XIX

Para esa época comenzaron a establecerse las primeras industrias metalúrgicas en el país, las que estaban insertas en el modelo agro exportador en plena vigencia. Estas industrias apuntaban a satisfacer la explotación agrícola, que demandaba alambrado, herramientas para cultivo y el desarrollo de la ganadería. Por otro lado, la construcción de edificios, casas y galpones demandaban productos de acero. Además, trataban de suplir las necesidades de reposición o reparación de elementos mecánicos de los buques que llegaban a los puertos. Había gran demanda de repuestos para ferrocarriles en pleno crecimiento. Este fue el marco histórico en que los pioneros siderúrgicos “P. Vassena, J. Pinoges y Baldort” actuaron.
A continuación, se detalla una descripción de cada una de las industrias metalúrgicas de la época:

1. Laminación de hierro “El Carmen” de Baldor, Roquez, Cadres y compañía se estableció en junio de 1890 y comenzó a laminar paquetes de 15 a 20 toneladas por día, de formas redondo, planchuelas, flejes dobles T, etc. Esta fue la primera industria siderúrgica en el país. “El Carmen” estaba ubicada en la calle Martin García al 600.

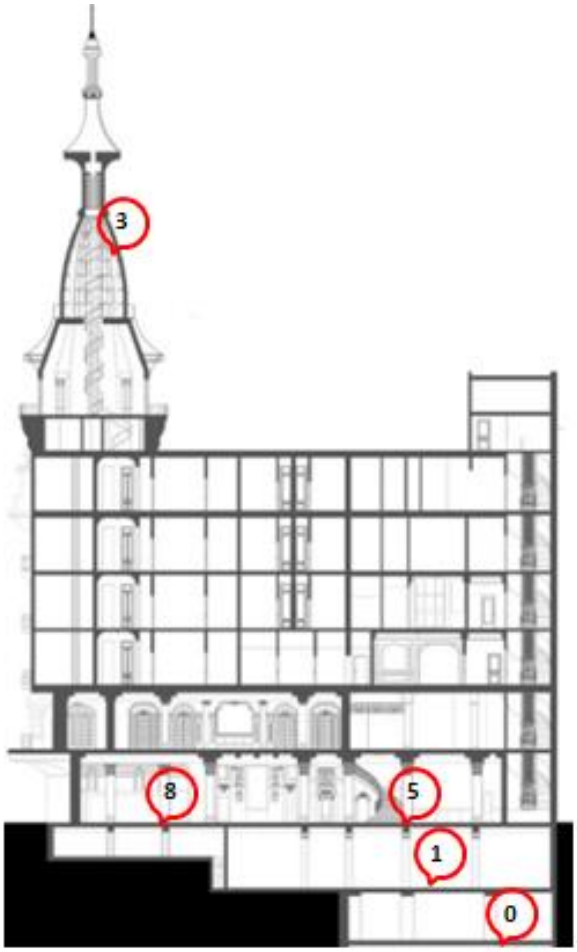
2. “Talleres metalúrgicos Vulcano” de Juan Pinoges, fue el segundo establecimiento siderúrgico de la Argentina y el primero en fundir acero. En 1896 adquirió el terreno sobre la calle Bolívar y comenzó a construir su establecimiento. La laminación se implementó a partir de 1905 y la acería en 1908.

Como se observar de los datos relevados de la época, el país no estaba en condiciones de proveer vigas estructurales doble T para la construcción de la estructura de un edificio.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

2.1. Espacios estudiados en la confitería El Molino

En la figura siguiente se aprecia en corte, las instalaciones totales del edificio donde se observan los 3 subsuelos y los 5 pisos de alto, coronadas por la cúpula. Se ha señalado con círculos rojos, las ubicaciones donde fue posible estudiar los perfiles que conforman la estructura de sostén del edificio y analizar su procedencia.



2.2. Procedencia de los perfiles encontrados en la estructura metálica de la Confitería del Molino

En la siguiente tabla se indica la procedencia de algunas de las muestras estudiadas. Se identificaron perfiles de la empresa Dorman-Long, de Inglaterra y perfiles de la Sociedad Rombach, ubicados como vigas horizontales en la bóveda del primer subsuelo. En tanto que los perfiles ubicados en la bóveda del segundo subsuelo, no se ha podido saber su procedencia

Tabla Nº1 - Identificación de muestras			
Denominación	**Región de extracción**	**Fabricante**	**Observación**
Pieza 1	Techo del 2do subsuelo	Desconocido	Viga horizontal doble T
Pieza 5	Techo del 1er subsuelo	Rombach	Viga horizontal doble T
Pieza 8	Techo del 1er subsuelo	Dorman Long	Viga horizontal doble T
Pieza 3	Cúpula	Desconocido	Varilla de la estructura de hormigón armado 6,35 mm
Pieza 2	-	-	Viga nueva reemplazante de tirantes horizontales

Resulta claro que, para la época de la construcción del Edificio de la Confitería del Molino, el desarrollo de la industria siderurgia en el país era muy incipiente, por lo tanto era imposible fabricar perfiles estructurales doble T, como los encontrados en la estructura de los subsuelos. Los datos de procedencia de las vigas de sostén del edificio revelan que nuestro país recibía materiales de construcción de varias fábricas de Europa no destacándose una marca comercial en particular. Evidentemente, los constructores sabían que las diferentes fábricas enviaban productos similares. Esto se demuestra al estudiar las microestructuras de los perfiles doble T; todas las vigas estudiadas por microscopia muestran una estructura ferrítica, con gran contenido inclusionario (sulfuros de manganeso y partículas con silicio), con un tamaño de grano de 40-50 µm, aproximadamente.

Tampoco fue posible identificar la procedencia de las varillas de hierro que conforman el hormigón armado de la estructura de la cúpula. El estudio por microscopia de este material, demuestro que es un acero de bajo carbono, donde no se observan estructuras laminares de perlita, solamente inclusiones (sulfuros de manganeso en su mayor parte) y granos equiaxiales de tamaños variables, entre los 30-40µm ± 2µm aproximadamente.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo obtener información acerca de las características estructurales y contenido inclusionario, de aceros utilizados en la edificación de la Confitería del Molino. En ese sentido el estudio también intenta ser un aporte al conocimiento de los métodos constructivos empleados a principios de 1900 en la ciudad de Buenos Aires, de interés para el estudio arqueológico y arquitectónico de edificios.

Del estudio de las microestructuras pertenecientes a las vigas y varillas que conforman la estructura de sostén del edificio de la confitería El Molino, puede concluirse lo siguiente:

1. Todos los materiales estudiados son aceros, de estructura ferrítica.
2. Siendo el análisis de inclusiones un índice de calidad del acero, este trabajo analizo su contenido. Así, los análisis metalográficos permiten ver un alto contenido inclusionario (como es el caso de la muestra Dorman Long) y de máxima severidad Se observan partículas de sulfuro de manganeso y restos de partículas con silicio lo que indica presencia de escoria en la fabricación del acero. Esto sugiere un acero de menor resistencia al impacto, pero este dato, no afecta la función de estructural.
3. Los tamaños de grano de todas las muestras estudiadas muestran valores que rondan los 40-50µm. Este dato contrasta con las dimensiones de tamaños de grano que tienen los perfiles fabricados en la actualidad para la misma aplicación (tamaño de grano de aproximadamente 20µm) con un contenido de carbono mucho mayor, lo cual sugiere que, actualmente, los perfiles de acero de características similares, tienen una mayor resistencia.
4. Los ensayos de tracción de las vigas horizontales pertenecientes al techo del 2do subsuelo (IPN 8), confirman valores pertenecientes a un acero de bajo carbono. El análisis de la estricción, indica que es un material de comportamiento dúctil.

Toda esta evidencia, nos lleva a concluir que, a pesar del alto contenido inclusionario de estos aceros, lo cual indicaría algún tipo de variabilidad en la calidad de fabricación, no interfieren en la funcionalidad de columnas y vigas que conforman la estructura del edificio

Bibliografía

[1] Leonel Contreras, Rascacielos Porteños, Historia de la Edificación en altura en Buenos Aires (1580-2005), Comisión para la preservación del patrimonio histórico cultural de la Ciudad de Buenos Aires, ISBN 987-1037-30-9

[2] Centro de Documentación de Arquitectura Latinoamericana (CEDODAL)

[3] Francisco Gianotti - Del Art Nouveau al Racionalismo en la Argentina ISBN

[4] Daniel Schavelzon - Revista Crisis (1975) – La Arquitectura de la clase – Buenos Aires

[5] GEOPE - https://es.wikipedia.org/wiki/GEOP%C3%89

[6] Dorman Long - https://www.gracesguide.co.uk/Dorman,_Long_and_Co - http://www.dormanlongtechnology.com/en/Dorman%20Long%20historical%20information.htm

[7] Dorman Long Company – Handbook of steelsections – Middlesborough, England

[8]Boletín Sociedad Nacional de Minería – bibliotecanacionaldigital.gob.cl/colecciones/BND/00/RE/RE0000517_0397.pdf

[9] www.bsigroup.com/en-GB/about-bsi/our-history/#chapter5

INVIRTIENDO MATERIALES

Cozzarín, Ana L.; Tovio, Daniel; Gonzalez, Alfredo; lacoste, Juan; Ruiz Diaz, Fernando; Seijas, Carlos; Feloy, Lucas

Cátedra de Materiales, Área Departamental Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNLP

Palabras claves: clase Invertida, encuentros de formación, material didáctico.

Introducción

El objetivo del presente es dar a conocer la metodología utilizada en la cátedra de Materiales durante la pandemia, dado que contando con algo de experiencia previa en virtualidad se generaron nuevos materiales didácticos y se invirtió la clase. Además, se reflexionará sobre las decisiones tomadas en el aislamiento, las mismas, al igual que toda medida que se toma en la cátedra se hace en forma colectiva entre las y los docentes que la integran, y con el objetivo central en éste escenario de lograr la máxima contención de alumnas y alumnos, y sin resignar en cuanto a la rigurosidad de la transmisión de conocimientos.

Desde hace ya diez años en la cátedra de Materiales se trabaja con plataforma virtual Moodle, en primera instancia como lugar de repositorio de material de estudio para los estudiantes y a medida que transcurrieron los años incorporando foros, chats de consultas, autoevaluaciones, y evaluaciones de laboratorio para acreditar presentismo a los mismos. Toda esa experiencia nos fortaleció a la hora de diseñar nuestra propuesta educativa cuando se dispuso del aislamiento social preventivo y obligatorio en Argentina. Desde el día siguiente a que se dispusiera el ASPO, los auxiliares docentes estuvieron a cargo de las consultas de ejercicios prácticos, a través de chats o por videoconferencia, disponibles todos los días de la semana y en diferentes bandas horarias, para contribuir con la necesidad de mayor disponibilidad horaria ya que las realidades familiares eran todas diferentes y muchos estudiantes compartían equipamiento en sus hogares. Los profesores por su parte, durante el primer semestre del 2020, no quisimos replicar clases teóricas realizando videoconferencias en dónde el busto parlante sea el protagonista, quisimos aprovechar la instancia para diversificarnos en el material aportado a las y los estudiantes para que de ese modo sean ellos y ellas los que seleccionen mediante qué manera querían aprehender los contenidos. Para esto se elaboraron materiales de diferente tipo: videos expositivos donde los estudiantes pueden pausar y volver a ver las veces que quieran los conceptos teóricos, presentaciones de power point con audios para quienes preferían esta modalidad, y apuntes nuevos con ejemplos de resolución de problemáticas incorporados para quienes prefiriesen la lectura. Que cada estudiante fuera por el camino que quiera hasta el final del recorrido para potenciar su aprendizaje fue un objetivo planteado al inicio del ASPO. A partir de todo esto los y las estudiantes pudieron resolver situaciones individuales, sorteado evaluaciones, las cuales también llevamos adelante pero considerando desde un principio del ASPO que debíamos acompañar al estudiantado en éste nuevo proceso y luego plantear evaluar. Y así se hizo. Es menester destacar que la cátedra recibió muestras de agradecimiento que nos parece importante destacar, por parte de los y las estudiantes por la diversidad de material para el estudio.

En el segundo semestre, ya con todo el material generado, decidimos iniciar los encuentros de formación entre profesores y estudiantes, utilizando la denominada “clase invertida” a través de la plataforma BBB. Estos encuentros tienen una duración de una hora dos veces por semana y tienen el objetivo de saldar dudas de teoría y de, a través de las charlas producidas entre todos, fomentar una formación integral de nuestros estudiantes. Es aquí donde haremos hincapié en el trabajo ya que hemos obtenido grandes resultados y ello lo

demuestran, entre otros, las respuestas de encuestas, sabiendo que muchas veces quienes se explayan en las encuestas son aquellos estudiantes más interesados y que una parte puede ser imparcial, pero no toda.

Marco teórico

Dar clase representa un acto apasionado (Piaget) a modo de donación, de entrega generosa (Berisso, 2015). No pretende un retorno objetivable, sino que consiste en una entrega que apunta a movilizar al otro a que abra su propia perspectiva. ¡La práctica de enseñanza no es azarosa, es intencional! Y nuestra intencionalidad, que se relata en el presente trabajo, es fomentar el estudio de una materia tecnológica básica a través del método de clase invertida. Aquí se expondrán todas las acciones llevadas adelante para alcanzar la clase invertida y resultados obtenidos durante la experiencia.

La “clase invertida” es un modelo pedagógico que se basa en la inversión de la estructura tradicional de la clase expositiva presencial a través del empleo de tecnologías de información y comunicación. En una clase expositiva tradicional, el docente desarrolla el contenido teórico/práctico en el aula. Luego, en casa, el estudiante realiza los trabajos prácticos o la tarea sobre el contenido desarrollado en el aula.

En el modelo de la “clase invertida”, antes de la clase, el docente produce o selecciona un material digital (video, presentación audiovisual, infografía, línea de tiempo, página Web, etc.), en donde se exponen determinados contenidos del curso y se desarrollan distintos tipos de actividades para verificar la comprensión de los temas. Luego, el docente distribuye el material de forma online a sus estudiantes.

En la clase, el tiempo de la exposición se libera, y la dinámica áulica se basa en el aprendizaje activo de los estudiantes y en la colaboración entre pares. El docente, en lugar de centrarse en la exposición teórica, puede aclarar los conceptos más complejos, asistir de forma individual a los alumnos con dificultades y fomentar el compromiso de los estudiantes para con su propio aprendizaje (Bergmann & Sams, 2012; Brame, s/f; Hamdan, McKnight, McKnight & Arfstrom, 2013; Margulieux, Majerich & McCracken, 2013).

Metodología utilizada

Los procesos unilaterales de transmisión de información no son procesos de enseñanza ni de aprendizaje. “Saber enseñar no es transferir conocimiento, sino crear condiciones para su propia producción o construcción” (Freire, 1996, p.32); es ofrecer la posibilidad de pensar más allá de lo establecido y permitir espacios en los cuales docentes y estudiantes pueden comprometerse en el diálogo y la reflexión prospectiva. Es aquí donde hubo que poner el énfasis, en crear ese “nuevo espacio”, al cual nadie estaba acostumbrado, de intercambio a través de la tecnología, y aquí nuevamente pensar en que la condición en la que encuentra la pandemia a cada uno/a no es la misma. Las materias de los primeros años, multitudinarias, sin lazos fuerte entre los alumnos y las alumnas, con menos recorrido en la carrera, sin saber sortear las adversidades del estudio de una carrera universitaria no son iguales a aquellas de los últimos años, en que los alumnos ya han recorrido una importante trayectoria universitaria, donde las materias son más específicas de la carrera y los lazos con los compañeros y compañeras más desarrollados. Sabíamos (y sabemos) que tenemos alumnos y alumnas de segundo año, cuando pasan por nuestra materia es uno de los momentos cruciales en las carreras de ingeniería, donde se produce una gran deserción de estudiantes y debíamos trabajar en contenerlos, en estimularlos a que continúen estudiando más allá de las adversidades que nos tocan atravesar actualmente.

Si bien los encuentros de formación con los estudiantes son pensados en despejar todas las dudas teóricas que les surgiesen a los y las estudiantes cuando miran el material de

antemano, también tienen el objetivo de fomentar la discusión de temáticas para llevar a los alumnos y alumnas al desarrollo del pensamiento crítico. Luego que ellos y ellas se apropian de los conceptos a través del medio que quieran realizamos encuentros sincrónicos para intentar en conjunto debatir y reflexionar situaciones problemáticas. La estrategia seleccionada para estos encuentros es catalogada por LITWIN como “Estudio y análisis de casos” (en muchas instancias trabajamos casos reales adaptados según la temática a charlar). Los casos ayudan a comprender la temática desarrollada pero además constituyen conocimiento por si mismos. Casos bien seleccionados permiten tratar temas que de otra manera serían más complejos, despiertan el interés a los estudiantes y permite trabajar las temáticas de otra manera.

Con respecto a la organización, a lo largo del semestre fuimos muy estrictos en cuanto al orden y los tiempos de activación del material a trabajar y con la comunicación de cuándo debía estar este material analizado. Se comunicaba absolutamente todo por moodle y se resaltaba (y se vinculaba con hipertexto) qué material debían leer/ver/escuchar para la semana siguiente. Si bien activar el material por semanas es un trabajo adicional para el equipo docente, se simplifica la tarea, tal es nuestro caso, si se lo tiene al inicio del curso, ahí tomamos la decisión de activarlo semanalmente para acompañar el estudio y aprendizaje de los y las estudiantes, y evitar que mirasen el material del final sin tener los conceptos básicos ya adquiridos. En la Figura 1 se presentan algunas partes del moodle de la cátedra.

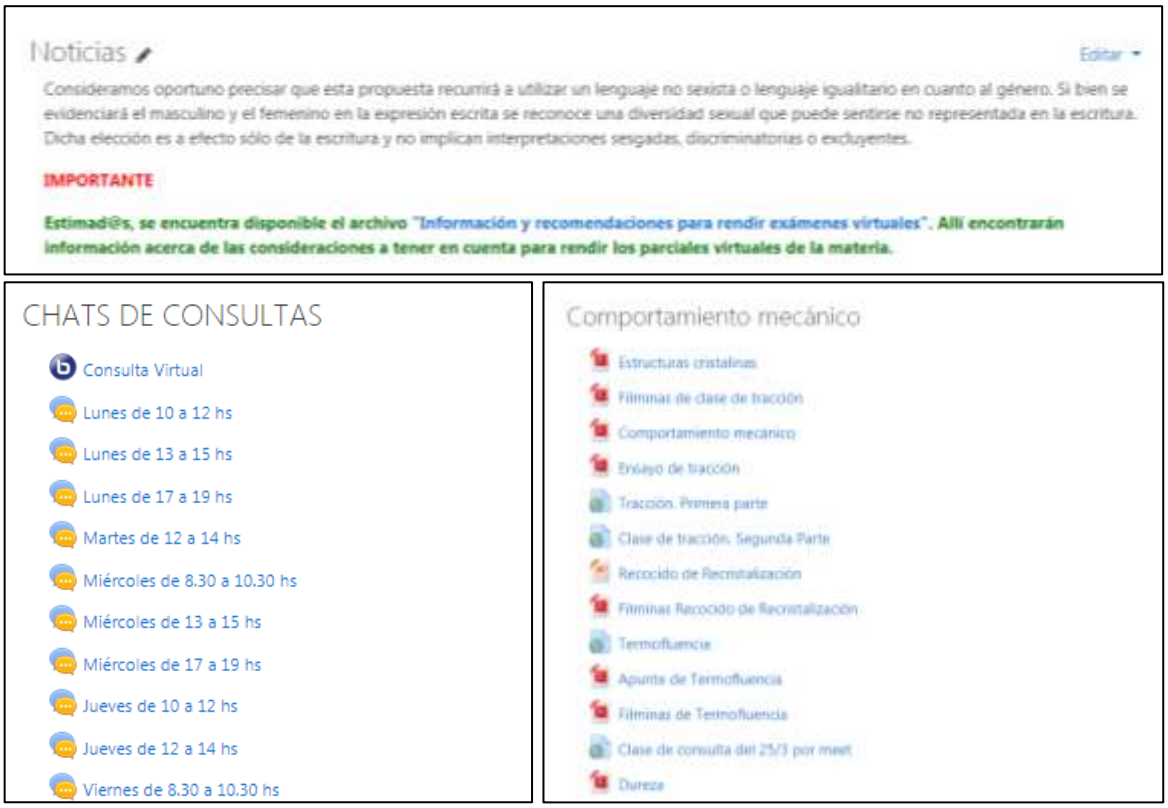


Figura 1: Algunas secciones del moodle de Materiales.

A partir del segundo semestre de 2020, ya disponiendo de la plataforma Big Blue Bottom (BBB), cada horario de consulta fue manejado por dos docentes auxiliares, lo que permitió

realizar con mayor dinámica las consultas desde el chat de Moodle o desde la plataforma BBB la cual permitía chat, audio y video. De esta manera, cada estudiante elegía la metodología que mejor se adaptaba a su situación o preferencia, generando consultas fluidas y con tiempos de espera muy cortos. En el caso del chat de Moodle, lo consultado quedaba guardado en la plataforma, permitiendo en cualquier otro momento, acceder nuevamente a lo hablado. Por otro lado, al contar la Cátedra con un plantel amplio de docentes, profesionales o estudiantes avanzados de diferentes ramas de la ingeniería (de los Materiales, Aeronáutica, Industrial, Mecánica, Electromecánica, Química), los Chats de Consultas también fueron un espacio de debate de los campos en que pueden desarrollarse las diferentes ingenierías, responder dudas asociadas o las materias de los años superiores, o para brindar información de otras alternativas a aquellos estudiantes que estaban en dudas con la carrera elegida.

De la cantidad de inscriptos a la materia, si bien los encuentros de formación no eran obligatorios, aproximadamente el 60% del alumnado se conectaba de manera sincrónica a los mismos.

Además de estas instancias de aprendizaje se pidió la entrega individual de 3 Trabajos Prácticos, en los cuales cada estudiante en función de su número de alumno/a debía resolver situaciones problemáticas de los diversos temas estudiados. Esto generó instancias extras de consulta a los docentes auxiliares, junto a revisión e integración de conceptos lo que les permitió reforzar los temas desarrollados previos a las evaluaciones parciales, aplicados a problemáticas vinculadas con actividades en industrias específicas.

Con respecto a la evaluación hemos evaluado con exámenes sincrónicos con profesores en plataforma virtual para las dudas, confeccionando una base de más de 300 preguntas para las distintas evaluaciones.

Resultados

Durante una clase tradicional, aproximadamente el 85% del tiempo los alumnos están involucrados en actividades receptivas: leen o escuchan; el 10% se involucran en actividades responsivas (toman apuntes, copian o responden preguntas) y, tan sólo el 5% del tiempo, se involucran en actividades reflexivas. Está demostrado que estas actividades de reflexión son las que más colaboran en el aprendizaje significativo y es a través de los encuentros de formación, que nosotros encontramos aumentar este tipo de actividades.

Si nos referimos a los resultados desde el punto de vista técnico de una clase invertida la misma permite:

- Retener a aquellos alumnos o alumnas que por cuestiones laborales no pueden asistir a la Universidad.
- Optimizar el tiempo del ciclo lectivo: esto es posible, si el profesor pone a disposición de los alumnos y alumnas los contenidos antes del encuentro de formación.
- El espacio de encuentro con los y las estudiantes “se humaniza”: en el sentido que la interacción que sucede entre docentes y estudiantes y entre pares permite una relación más cercana entre todos.
- Fomenta el trabajo autónomo y contribuye a una adecuada gestión del tiempo: se trata de una metodología que respeta los estilos y ritmos de aprendizaje en la medida en que “el o la estudiante posee mayor control sobre su proceso de aprendizaje”.
- Ayuda en la consecución de mayores niveles de logro, interés y compromiso de los y las estudiantes: mejorando las capacidades de resolución de problemas e incluso disfrutar más de los encuentros.

- A las y los docentes nos permite construir, en conjunto con las y los estudiantes, charlas en donde podemos explayarnos más sobre ejemplos de la realidad y relacionarlos con los conocimientos específicos, que a veces en las clases presenciales tradicionales o en las sincrónicas con los contenidos tradicionales estamos condicionados por el tiempo. Este tipo de encuentros da lugar a la creatividad en vivo del docente en sintonía con las alumnas y alumnos, o sea, se podría decir, una construcción de conjunto y que invita a la participación de toda la comunidad educativa del aula en su conjunto.

Si nos referimos a aquello que nos indicaron en una encuesta voluntaria al final de la materia sobre que les ha pasado o que les ha parecido relevante a los y las estudiantes luego de usar la metodología de las clases invertidas y los encuentros de formación, podemos citar algunas descripciones textuales de los y las estudiantes, siendo conscientes que muchas veces quienes se explayan en las encuestas son aquellos estudiantes más interesados y que una parte de lo que expresan puede ser imparcial, pero no todo.

- *"Me gusto muchisimo las clases Teoricas y la modalidad muy amplia de las clases de consultas. Me gusto mucho tambien los videos en youtube del profesor".*
- *"El peso que le dan a los acontecimientos sociales y a las fechas importantes me parece un muy buen acierto ya que no considero que a la facultad no solo se va a estudiar contenidos asilados, sino que estos se encuentran inmersos y afectados por lo que ocurre con la sociedad. Además el hecho de siempre darle relevancia a la industria nacional, que siento que en gente de nuestra edad escasea."*
- *"Me gusto el carácter social en el que se desarrollo la materia, siempre contextualizando la situación actual del país. Estuve cerca de elegir ing en materiales por el problema mundial de la contaminacion plastica. De contenidos, entender como funcionan los materiales y el por qué, sobre todo polimeros y vidrios".*
- *"Me resultó muy revelador el hecho de las actividades de formación complementarias y los distintos proyectos que se llevaron a cabo."*
- *"que se separaban del cronograma y daban contexto a las cosas que nos enseñaban. Estaban muy presentes"*
- *"El hecho de que siempre se haga una observacion relacionada con la industria".*
- *"Me parece interesante y muy bueno que hayan adoptado un lenguaje que incluya a todos y todas, y que desde el primer momento se preocupen por la situación de les estudiantes más en este contexto tan complicado, la verdad es que no todas las cátedras lo hacen. Me pone contenta que hayan cátedras cómo estás que promuevan el sentido de permanencia tanto a la universidad como al país, y que impulsen la importancia del crecimiento de la ciencia y la tecnología".*
- *"Me pareció interesante la mención de la importancia de nuestro papel como futuros profesionales para la soberanía de nuestro país".*
- *"La modalidad inclusiva que posee fue muy interesante, porque se noto una gran diferencia con las otras catedras de otras materias. A su vez la disposicion y sinceridad de los docentes, siempre poniendose en el lugar de ayudar, demostrando que estan interesados en que aprendamos; Y no en una situacion de imponer poder."*
- *"la insistencia por que valoremos y defendamos los recursos naturales y tecnológicos nacionales durante las clases la considero importante y necesaria."*
- *"Las ganas de verdaderamente enseñar, la pasión que sienten por lo que hacen los docentes porque se ve reflejado en la prolijidad y el orden que existe en la cátedra (por medio del moodle)desafiando estos tiempos de pandemia tan complicados para todo el mundo. Es admirable ver al profesor grabar y dar las clases con buena onda y el hecho de haber buscado la manera de hacernos llegar los contenidos. Muchas gracias por eso!"*
- *"me gusto la variedad de consultas que podian realizarse, y el ida y vuelta con los profesores"*

- *"Lo que más destaco es la organización de la catedra. Se adaptaron muy bien a la virtualidad a comparación de muchas otras y siempre respetaron el cronograma. Además, pude "conocer" a los profesores".*

Conclusiones

Como afirma Mariana Maggio (2012) *sabemos que los cambios pedagógicos son lentos, pero las formas culturales no esperan y mucho menos en estos tiempos en los que Internet marca nuestros ritmos cotidianos. ¿Qué hacemos entonces? Lo primero es alegrarnos por el tiempo liberado de la explicación*. Frente a nuestra constante queja por la carrera contra el tiempo. Este punto se ha puesto aún más de manifiesto con el tema de la pandemia mundial y si bien ha sido (y es) mucho el esfuerzo que conlleva adecuar nuestro material a cuestiones virtuales, este ha sido un camino de ida que se ha iniciado y que una vez aprehendida la metodología de la confección y utilización de materiales virtuales puede favoreces nuestras prácticas docentes.

Desde el punto de vista de la potencialidad de las clases invertidas se puede destacar que a través de las mismas se desarrollan actividades didácticas que potencian la creatividad y el pensamiento crítico de los estudiantes, enmarcados en una dinámica de aprendizaje autónomo, activo y con colaboración entre pares si uno sabe fomentarlo.

Para quienes integramos la cátedra de Materiales, la tecnología no es un puente a través del cual se transmiten contenidos, sino un territorio donde ocurren otras prácticas, rituales e interacciones que posibilitan los aprendizajes. Hoy más que nunca necesitamos preguntarnos por los sentidos de la integración de las tecnologías en la enseñanza de nivel superior. "Lo importante no es qué tecnologías van a aprender a usar nuestros estudiantes, sino qué y cómo van a aprender utilizando esa tecnología"

Estamos a esta altura de los acontecimiento convencidos, que prácticas como las clases invertidas, en nuestra cátedra han venido para quedarse al igual que el uso de distintas tecnologías que no habíamos utilizado, y ahí está nuestro gran desafío como cátedra, cómo ser capaces de seguir integrando tecnologías, metodologías, creatividad, sin resignar nada en cuanto a la actualización de contenidos, a generar en la medida de nuestras posibilidades, caminos de contención y a mantener la rigurosidad académica.

Bibliografía

Berisso, Daniel (2015) ¿Qué clase de dar es dar clase? Editorial Antropofagia.
Bergmann, J.; & Sams, A. (2012). Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day. Arlington, VA: International Society for Technology in Education.
A.L. Cozzarín, C. E. Lopardo, G. D. Saralegui, D. O. Tovio, A. C. González (2008) "El desafio de adaptar los contenidos" VI Jornadas de CAEDI. 17 – 19 de Septiembre de 2008, Salta. ISBN 978-987-633-011-4
Margulieux, L.; Majerich, D.; & McCracken, M. (2013). C21U's Guide to Flipping Your Classroom. Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology-Center for 21st Century Universities.
Andrés Olaizola. (2014) La clase invertida: usar las TIC para "dar vuelta la clase" Actas X Jornadas de Material Didáctico y Experiencias Innovadoras en Educación Superior.
Zabalza, M.A. (2012). Articulación y rediseño curricular: el eterno desafío institucional. Revista de Docencia Universitaria. REDU.Vol.10 (3) Octubre-Diciembre. Pp. 17-48 http://www.red-u.net/
Brocca D - Clapes M La Clase Invertida rdu.iua.edu.ar/bitstream/123456789/1005/1

La extensión dando respuestas en plena pandemia.

Daniel Tovio, Miriam Bubenik, Juan Lacoste, Ana Laura Cozzarín, Alfredo González, Cecilia Álvarez, Lucas Feloy, Fernando Ruiz Díaz, Ernesto Maffia, Manuel Aquín González.

ProInTec I&D, Area Departamental Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNLP

Palabras claves: Extensión, organizaciones territoriales, formación integral, adaptarse.

Introducción

En la convocatoria 2019 de programas y proyectos de la UNLP, nuestro equipo se presentó a la misma en la modalidad programas. Ya llevamos varios años trabajando en extensión, y el equipo viene desarrollando dicho trabajo en un par de líneas, lo que hace que la experiencia se haya ido concentrando en el tiempo en líneas tales como: instalaciones edilicias en general, complemento de áreas de comunicación, fortalecimiento de organizaciones territoriales, entre otras.

También se viene trabajando, ya sea en las presentaciones de los años anteriores y en las distintas actividades de extensión, en el concepto del avance en forma colectiva, es decir, siempre presentándonos en forma conjunta con otras Facultades, y por sobre todas las cosas, en una labor codo a codo con organizaciones territoriales de la barriada platense.

Nuestra presentación en éste caso, se centró en la línea de fortalecimiento institucional. Hemos podido corroborar que el trabajo con algunas organizaciones a través del tiempo, ha permitido tener un panorama muy amplio de su funcionamiento, de sus fortalezas y debilidades y también, ese trabajo en conjunto nos ha dado legitimidad a la hora de plantearles algún consejo, alguna propuesta de mejora, o cualquier cuestión que haga a transmitirles algo que nos parece que podía o puede aportar a su fortalecimiento o mejorar como organización. De ahí la línea de presentación que elegimos y la institución cabecera con la cual nos presentamos en el Club Corazones de El Retiro. El club está implantado en pleno barrio El Retiro, de la ciudad de La Plata, y en contacto directo con la zona más humilde y necesitada en todo aspecto del mismo.

Pero también y tal como es la esencia misma de la extensión, nos ha permitido aprender, redefinir saberes, acrecentar nuestra experiencia en territorio, todos aspectos fundamentales, tanto para los y las alumnas como así también para los y las docentes que hemos ido participando en las distintas actividades a través de los años. Quienes suscribimos a este trabajo creemos que a través de la extensión universitaria se logra, además, un canal propicio para la comunicación entre y con los movimientos sociales, que son quienes mejores detectan las necesidades de ciertos sectores sociales, y la Universidad. A partir de esta comunicación y las acciones que desarrollemos en función del diálogo y las necesidades detectadas, los docentes universitarios podremos realizar una exhaustiva sistematización de las experiencias con una revisión crítica de la labor desarrollada por los equipos extensionistas, con el objetivo de generar reflexiones teóricas que sirvan tanto como insumos para la docencia como para compartir con otros espacios similares, este a veces no resulta fácil de implementar en nuestra facultad donde tradicionalmente el gran volumen de trabajo pasa por la transferencia y la investigación, si bien debemos destacar que año tras año el avance de sectores que se suman a aportar desde la extensión.

Tener la maravillosa posibilidad de pertenecer a una universidad en general y una facultad en particular con tanto conocimiento y tanta diversidad de disciplinas, nos posibilita como equipo, poder invitar y trabajar en conjunto y en territorio con las mismas, y eso, para las organizaciones territoriales es muy importante y son conscientes del aporte que les significa. Y a esto lo hemos podido ir practicando y corroborando a través del tiempo en este ida y vuelta que es la extensión.

¿De qué se trata el programa presentado?

"Construimos radio comunitaria" es el título, y se fue definiendo con el correr del tiempo y con las distintas actividades realizadas en el barrio El Retiro, y más precisamente en el club Corazones de El Retiro. Lo presentamos junto a la Facultad de Periodismo y Comunicación Social y la Facultad de Trabajo Social, dos facultades también con dilatadas trayectorias en el mencionado territorio.

Está integrado por más de 10 docentes y 16 alumnos y alumnas de las tres facultades participantes. Cabe destacar aquí que el mencionado programa fue aprobado y financiado por la UNLP en el año 2020.

La presentación va acompañada por cinco organizaciones territoriales de la zona oeste de La Plata y con antecedentes de trabajos en común con la organización base que es el Club. También mencionamos que en el programa están involucrados tres Centros Comunitarios de Extensión Universitaria de la UNLP.

Debemos destacar que a través de los años, recordemos que venimos participando desde el año 2010 allí, año en el cual, el Club fue nombrado por la UNLP como Centro Comunitario de Extensión Universitaria N°3, pudimos edificar una relación con la organización, que a través de la interacción con los referentes del barrio nos ha permitido ir construyendo los proyectos, en éste caso el programa de extensión.

¿Por qué decimos tal afirmación? pues porque hace ya muchos años que la organización viene trabajando a través de su gente en dos líneas fundamentales, educación y deportes no competitivos, y para ello tomó la decisión, hace ya tiempo en avanzar con la comunicación popular.

Hoy el club en educación, trabaja concretamente en primaria, articulando con una escuela primaria de Los Hornos, con una matrícula de 25 alumnos y alumnas vecinos del barrio, con edades desde los 18 a 80 años, secundaria con el programa FINES, con una matrícula de 180 alumnos y alumnas distribuidos en 5 comisiones, cursos varios y de real necesidad en el territorio, a través de la Escuela Universitaria de Oficios, y el grado universitario con la Facultad de Periodismo y Comunicación Social, dictando íntegramente en el propio territorio la Tecnicatura en Comunicación Popular, de la cual a esta altura tiene el plena cursada a tres cohortes, con más de 60 alumnos y alumnas cursando en las propias instalaciones del club.

En deportes se practica el futbol infantil, con un plantel de más de 100 chicos, y por otro lado también se practica taekwondo, y allí son cerca de 80 chicos y chicas que lo practican. Durante el año 2020 y con el objetivo de contener e incluir, se comenzó a trabajar el futbol femenino, y hoy se cuenta con más de 20 pibas practicándolo.

Pero también, a partir del año 2014, se instaló en el Club, un canal de televisión, Canal Comunitario Naturaleza Viva, y nosotros tuvimos la oportunidad allí, de hacer un interesante desarrollo de instalaciones en general. Se llegó, en el año 2019 a tener hasta 10 programas de producción propia del barrio, y también transmitir contenidos producidos por el canal de la UNLP TVU. Durante el año 2020 y actualmente, no se

transmite por cuestiones sanitarias. Se aclara que se venía transmitiendo por aire, a través de una antena por canal 45, pero a comienzo del año 2016 se cercenó en derecho a la comunicación por aire por parte del gobierno nacional de ése momento, y por lo tanto, y con mucha participación y asesoramiento de nuestro grupo, el canal comenzó a emitir en vivo por un canal de youtube: canal comunitario naturaleza viva.

Nuestro equipo siempre apoyó y acompañó estos proyectos de la institución con trabajos concretos allí, y por eso, a partir de los antecedentes mencionados, la decisión literal de construir una radio comunitaria en forma integral.

Desarrollo de infraestructura y formación integral para una radio comunitaria son los ejes del programa.

Y en todo esto… ¿Qué influencia tuvo la pandemia que estamos atravesando desde hace más de un año?

Lo primero fue el detenimiento del desarrollo del mismo, pero después fuimos generando caminos y alternativas para trabajar en el territorio, y desde allí también avanzar en otros aspectos, por ejemplo discutir y acordar cambios en la idea original del proyecto.

Cambió el proyecto original, producto de continuas charlas y haciendo participar a mas especialistas, sobre todo de la comunicación, la mayoría virtual, y haciendo algunas visitas al lugar.

Los cambios no implican en si un proyecto distinto al original. El cambio viene en que los referentes del club, y con el asesoramiento de especialistas que fueron acercándose a partir de nuestra participación y gestión, decidieron transformar el estudio actual de televisión que está en funcionamiento, más allá de la no emisión durante la pandemia por cuestiones de cuidados en términos de salud, en un estudio dual, es decir, de radio y tv.

Esto permitirá a la institución un aprovechamiento edilicio más eficiente, pues la idea original era la de adaptar una parte edilicia actual del club, en estudio de radio, y hoy, el club decidió transformarla a la mencionada sección edilicia en un consultorio odontológico, con todas las comodidades necesarias. Esto pudo ser planteado por la institución debido al cambio de uso que se decidió.

Se destaca que hoy la Facultad de Odontología de la UNLP desarrolla en el club un proyecto de extensión, con un consultorio instalado en un aula muy chica y sin espacio para sala de espera cubierta y demás. Odontología lleva su trabajo adelante a través de un proyecto en el cual todos los jueves atienden allí de 9 a 17 hs, a pacientes de gran parte de la zona oeste de La Plata, pues se deja constancia que es el único consultorio odontológico de carácter público, para la mencionada zona. Destacamos que en éste emprendimiento en particular por parte del club, nuestro equipo de ingeniería participa asesorando por ahora, en todo lo que hace a instalaciones, condiciones de HyS, entre otros, y a futuro nos comprometeremos con más tareas. También se destaca que el espacio que dejará el consultorio actual se transformará en un aula, que para algunas de las comisiones del Plan Fines, es totalmente adecuada.

¿Y por qué la decisión del cambio a un estudio dual?

Varias son las razones, pero la que primó es que se tratara de tener cubierto el mayor tiempo posible del día con emisión, fundamentalmente de radio que es lo más popularmente tomado como sistema de comunicación por la gente del barrio y barrios

vecinos. Además, tener la posibilidad de programas en dúplex mejora la programación en esos términos.

También al estar en el mismo estudio permite un trabajo más eficiente en cuanto a los recursos humanos involucrados, tales como operación técnica.

Otro aspecto a considerar en la decisión fue el análisis integral que le planteamos a la Comisión Directiva en cuanto a inversión y tiempos de ejecución, entre otros.

Todo lo antes detallado fue debatido intensamente entre las partes, y el freno al desarrollo del proyecto a que obligó la pandemia, permitió un debate más pormenorizado. Las organizaciones territoriales deben ser tenidos en cuenta a la hora de definir políticas a llevar adelante por los universitarios, si el grupo extensionista transita a través de la extensión por las reuniones y discusiones que hacen a las definiciones para el bien social comprenderán que la mayoría de las sociedad piensa que “nada para nosotros sin nosotros”, las decisiones a tomar para llevar adelante, sobre todo en sectores sociales carenciados deben ser tomadas en conjunto. De esta manera, los y las docentes y principalmente los y las estudiantes que no forman parte generalmente de estos sectores, podrán apropiarse de un saber social que les interpelará en su mirada de la sociedad.

Reflexiones finales

El cambio mencionado en el proyecto, y la necesidad ahora de construir in situ o en otro lugar las partes constitutivas de la nueva infraestructura, nos permitió hacer una mirada introspectiva a nuestro grupo de trabajo, y pensar y generar las acciones, con los cuidados que el protocolo de salud nos indicaba, de adaptar las instalaciones de nuestro propio espacio de trabajo en la Facultad, es decir, la UIDET PROINTEC I&D, para poder encarar la fabricación de las partes que se armarán en el estudio de radio y tv, entre otras actividades.

En estas tareas tuvo un interesante nivel de colaboración un becario de extensión, financiado con fondos de la facultad y que participa en nuestro programa, lógicamente que se hizo con los cuidados y el protocolo acordado por la Facultad para éste tipo de tareas.

También se pudo avanzar en la formación integral del becario, y con un tema que para las y los ingenieros es de suma importancia, y a veces no somos conscientes de ello. Formarnos en la comunicación en general y en la extensión en particular. El becario realizó el curso Comunicación de proyectos para implementar en la Web, que fue gestionado y coordinado por la Secretaría de Extensión de la Facultad de Ingeniería. Si como docentes universitarios afirmamos que la educación superior es un derecho y queremos que se apropien del derecho a una educación integral, nos obliga como docentes a generar condiciones de ejercicio de ese derecho, y esto es generar condiciones de acceso, de aprendizaje y de egreso de nuestros estudiantes. Si creemos que las actividades de extensión fortalecen la formación integral de los y las ingenieras, debemos seguir trabajando para que cada vez más alumnas y alumnos transiten por este tipo de actividades.

Retomando el tema de la readecuación de las instalaciones de nuestra UIDET, fundamentalmente en el sector que denominamos taller, no sólo posibilitará la construcción de las partes que conforman la nueva infraestructura en el estudio dual de radio y televisión, sino que también permitirá poder llevar adelante tareas con la Secretaría de Extensión de nuestra Facultad, en la futura construcción de estufas y

cocinas solidarias. Esto es un proyecto que ya trabajó la Secretaría en otro espacio, y concretamente ha producido y entregado toda una serie de estufas en distintos territorios y organizaciones. A futuro se construirán en nuestras instalaciones.

Por último queremos destacar que la Secretaría de Extensión de la Facultad, y tal como lo mencionamos antes, en pleno desarrollo de la pandemia, donó una estufa solidaria que fue armada por el Secretario de Extensión y un grupo de colaboradores y colaboradoras de la secretaria. Esto es muy importante mencionar, pues la estufa permitirá una vez retomada la presencialidad, lograr calefaccionar un espacio amplio del club, el cual es utilizado para dictar clases en el Programa FINES, con capacidad para 40 alumnas y alumnos, entre otras actividades.

Bibliografía

Programa Construimos Radio Comunitaria (Convocatoria 2019). https://proyectos-extension.unlp.edu.ar/programas/18
Farco (2010): Ley de servicios de comunicación audiovisual: desafíos para los medios comunitarios y populares.
Alvarez, Cecilia; Cozzarin, Ana Laura; Feloy, Lucas Eugenio; Maffia, Ernesto. (2020) Ruiz Diaz, Fernando La responsabilidad de que se apropien del derecho a una educación integral. 3ras jornadas sobre las Prácticas Docentes en la Universidad Pública.
Daniel Tovio, Ana Laura Cozzarín, Lucas Feloy, Danilo Vucetich, Juan Lacoste, Pablo Seré, Alejandra Navarría, Augusto Bruno, Vicente Pizzorno, Alfredo Gonzalez. (2014) La extensión como herramienta para la transversalidad en la formación social del Ingeniero. VI Congreso Nacional de Extensión Universitaria. ISBN: 978–987–702–078–6

LA ENSEÑANZA DE LOS SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN EN LA VIRTUALIDAD: MODELADO 3D DE CONJUNTOS MECÁNICOS

Gavino, S. - Lopresti, L. - Fuertes, L. - Speroni, L. - Defranco, G.

UIDET Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada - Facultad de Ingeniería - UNLP
AV. 1 y 47 1900 - La Plata, Argentina - sergio.gavino@ing.unlp.edu.ar

Resumen:

Esta comunicación describe el trabajo de la UIDET GIGA (Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada) en relación con el diseño de acciones que el contexto actual ha impuesto por la pandemia, con el objeto de contribuir a sostener la enseñanza y el vínculo con los estudiantes. Históricamente, los cursos de *Gráfica para Ingeniería* y *Sistemas de Representación "C"* de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, se han nutrido de uno de los ejes de trabajo de esta UIDET: el diseño de material didáctico en soporte digital. El dictado de estas asignaturas, en la presencialidad, se basaba en 3 módulos: teoría de los sistemas de representación, prácticas de croquizado y un módulo Dibujo Asistido por Computadora orientado al modelado 3D. Tres módulos integrados con el objeto de propiciar en el alumno la adquisición de competencias que le permitan leer y realizar representaciones gráficas de carácter técnico. La virtualidad exigida por el contexto requirió reconvertir las secuencias de enseñanza presenciales de cada uno de los módulos de trabajo en recorridos mediados por la virtualidad, apelando a una búsqueda de modos, herramientas, aplicaciones como también con la perspectiva a la posibilidad del retorno a la presencialidad o a instancias combinadas, donde la enseñanza presencial es complementada por la virtualidad. En particular, este documento describe las acciones pertinentes al módulo CAD donde se introdujo a los alumnos al modelado 3D de piezas mecánicas, para finalmente resolver el estudio y representación de un mecanismo analizando las características propias del conjunto, la cantidad de componentes que lo integran, los principios de funcionamiento, las formas de vinculación entre las partes, etc. En este caso, se eligió un mecanismo que simula un movimiento cardánico, donde en la instancia final de ensamble y simulación, los alumnos, tutelados por el cuerpo docente, resolvieron satisfactoriamente el ensamble virtual del conjunto, y su posterior simulación de transmisión del movimiento de rotación de uno de los ejes del conjunto a eje a pesar de no ser colineales, en este caso a 90°.

Palabras Clave: modelado 3D, sistemas CAD, virtualidad, pandemia.

INTRODUCCIÓN

La UIDET GIGA (Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada), entre sus líneas de trabajo en el proyecto de investigación vigente, asumiendo los desafíos del contexto actual impuestos por la pandemia, ha priorizado el eje académico fundamentado en la necesidad de la revisión de los recursos utilizados en las prácticas áulicas de los cursos de *Gráfica para Ingeniería* y *Sistemas de Representación "C"* correspondientes al 1° y 2° año de las carreras de Ingeniería de la UNLP: sostener la enseñanza y el vínculo con los estudiantes. Diversos trabajos de nuestra producción [1, 2], en el marco de proyectos de investigación, dan cuenta del recorrido que como UIDET hemos iniciado en el año 2004 respecto al desarrollo de material digital en orden a potenciar la integración de las TIC en las propuestas de enseñanza. Aunque observamos que éstos siempre fueron integrados a la actividad áulica, sosteniendo la presencialidad a través de 3 módulos: teoría de los sistemas de representación, prácticas de croquizado y un módulo CAD orientado al modelado 3D. Pero ante este escenario inédito, por su complejidad y excepcionalidad, fue necesario reconvertir las secuencias de enseñanza presenciales en un recorrido virtual, apelando a una búsqueda de modos, herramientas, recursos didácticos en relación con la virtualidad como también respecto a la posibilidad del

retorno a la presencialidad o a instancias combinadas donde la enseñanza presencial es complementada por la virtualidad [3], sobre todo respecto a la enseñanza de saberes que resultan complejos de ser abordados a la distancia como la modelización 3D con software paramétrico.

Desde este marco, la UIDET GIGA se propuso enfrentar esta coyuntura donde el diseño y selección de recursos y la adecuación de estrategias didácticas requirió la definición de "*un enfoque pedagógico del tratamiento de los entornos virtuales donde el énfasis, más que en las posibilidades comunicativas de las TIC o en la sofisticación en la gestión de dichos entornos, o en la envergadura de la infraestructura, lo situamos en los cambios metodológicos puestos en juego para un mejor resultado en términos de aprendizaje*" [4].

Si duda, repensar la enseñanza para la virtualidad de estos 3 módulos anteriormente citados (teoría de los sistemas de representación, prácticas de croquizado y un módulo CAD orientado al modelado 3D) significó revisar numerosos aspectos para reorganizar la asignatura en función de esta coyuntura: revisar el programa, redefinir actividades, seleccionar canales de comunicación apropiados, repensar las intervenciones del cuerpo docente y particularmente rediseñar el material didáctico para su consulta en línea [5]. En el presente documento se expondrán las estrategias de intervención a partir del escenario de la virtualidad, en relación con los sistemas CAD orientados al modelado 3D, a través de la aplicación Autodesk Inventor®. Los alumnos tienen la posibilidad de descargar una versión gratuita para estudiantes del portal https://latinoamerica.autodesk.com/education/home.

DESARROLLO

a. Antecedentes

A continuación, se mencionan algunos ejemplos de material didáctico en formato digital que esta UIDET ha desarrollado y que se han introducido, a lo largo de los años, en las prácticas de enseñanza de las asignaturas mencionadas:

- *animaciones:* Las animaciones se utilizan como apoyo para el aprendizaje presencial; en ellas, se modelizan los conceptos fundamentales del dibujo tecnológico: el Sistema Monge o Sistema Diédrico, Cortes, Secciones y Arrancamiento, etc. (Figura 1). Las cuales se resolvieron inicialmente en formato *swf*. Pero en el presente año, este formato quedó deshabilitado en la mayoría de los exploradores por su vulnerabilidad, por lo tanto, fue necesario reconvertir las animaciones en formato *mp4*.



Figura 1: Captura de pantalla de las animaciones

- *modelos 3D interactivos en formato pdf:* Los modelos 3D interactivos en formato *pdf* pueden orientarse para la visualización de componentes de ingeniería, arquitectura, diseño industrial, etc., haciendo posible ampliar el repertorio de recursos morfológicos y así consolidar el aprendizaje del dibujo tecnológico. En la Figura 2, se puede

observar la Guía de Modelos 3D con los modelos 3D interactivos embebidos en el archivo *pdf*.

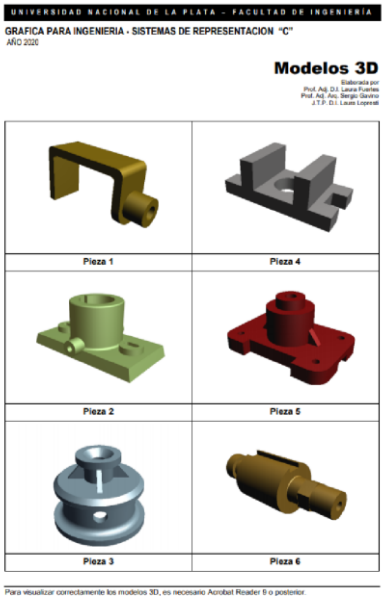
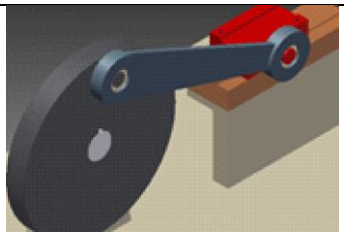
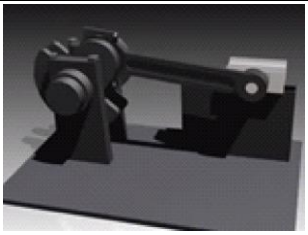
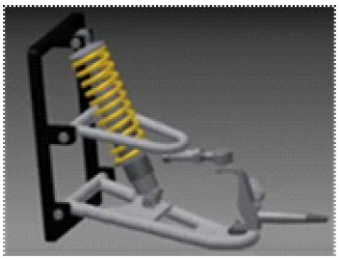
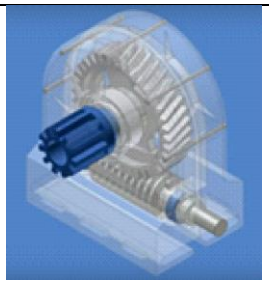
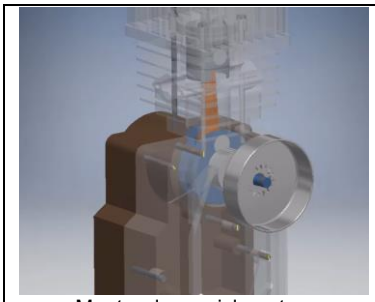


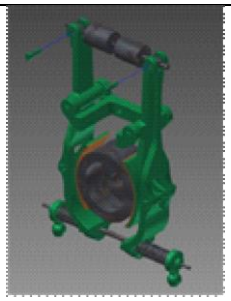
Figura 2: Guía con modelos 3D interactivos en formato *pdf*.

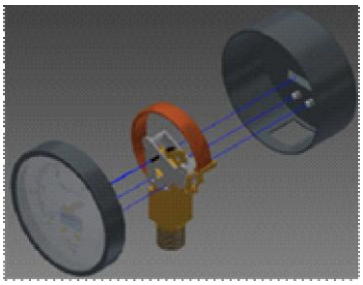
- *Conjuntos mecanismos modelizados en 3D:* Los conjuntos mecánicos propuestos cada año para su modelado 3D se seleccionaron según su nivel de complejidad, número de piezas que lo componen, principios de funcionamiento, forma de vinculación entre las piezas, ya sean móviles o fijas, etc. (Tabla 1).

Tabla 1: ejemplo de conjuntos mecánicos resueltos por alumnos.

 Sistema Biela Manivela (conjunto didáctico elaborado por la cátedra)	 Propuesta de modificación del Sistema Biela Manivela realizado por alumnos	 Diferencial
 Freno de Disco	 Suspensión Delantera	 Caja Reductora


Mootor de un ciclomotor.


Freno de Ascensor


Manómetro de Bourdon

b. Adecuación desde la presencialidad a la virtualidad: algunas consideraciones

En la presencialidad, el estudio y análisis del conjunto mecánico se resolvía teniendo las piezas reales en mano, las cuales eran analizadas, croquizadas y posteriormente modeladas en 3D por los estudiantes. Para la implementación de la actividad y a partir de un mecanismo dado, se conformaban equipos de 4 a 6 alumnos. El desarrollo de esta actividad puede ser consultado en la ponencia *Conjuntos Mecánicos en Entornos Virtuales de Simulación: una práctica de aprendizaje en los sistemas de representación en Ingeniería* [6].

En el contexto actual, se adecuó la actividad grupal a un trabajo de carácter individual por la imposibilidad de los alumnos de acceder a conjuntos mecánicos reales y de reunirse presencialmente para coordinar las actividades en equipo. En consecuencia, se elaboró un conjunto mecánico de carácter didáctico que reuniría dificultades similares en cuanto al análisis del conjunto y posterior modelado 3D, la confección de planos de las partes del conjunto y la simulación de movimiento.

El conjunto elegido (Figura 3) reproduce un movimiento cardánico a partir de dos ejes no coaxiales, en este caso a 90°. La actividad propuesta implicó varias etapas:

- modelado 3D de cada una de a partes
- plano de las partes ajustados a normas IRAM
- ensamble del conjunto
- simulación del movimiento

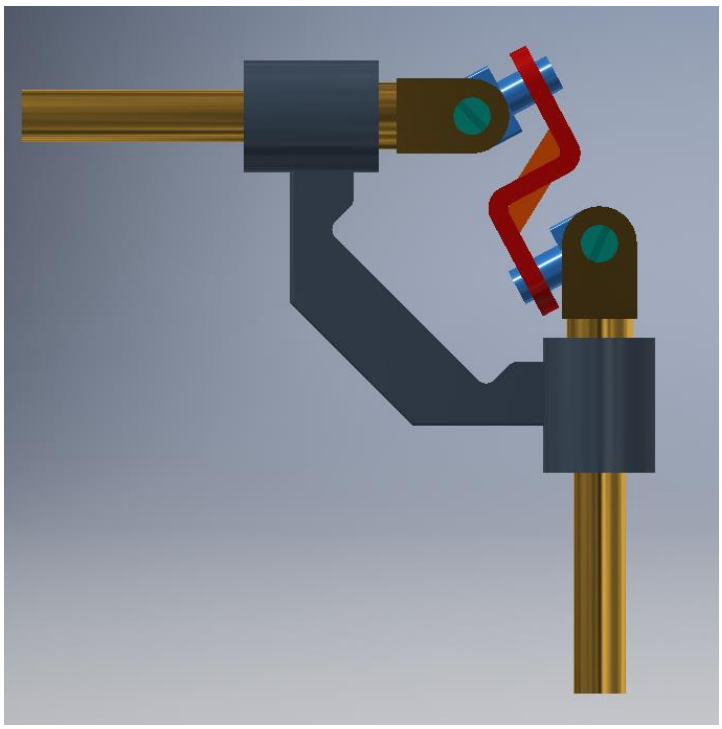


Figura 3: Guía con modelos 3D interactivos en formato pdf.

c. Propuesta de enseñanza de los sistemas de representación desde la virtualidad

El esquema de trabajo adoptado para el módulo CAD en el marco de la enseñanza virtual se ajustó al siguiente esquema:

- *Videos Tutoriales (asincrónicos):* según González Castelán "*el tutorial es una guía paso a paso para realizar una actividad, aunque su uso no está muy difundido en la educación, es una forma sencilla de compartir información y que los estudiantes puedan aplicar los conocimientos que el tutorial ofrece con la posibilidad de revisarlo cuantas veces sea necesario hasta lograr el desarrollo de una habilidad*" [7]. En nuestro caso, cada pieza del mecanismo propuesto es acompañada por un video tutorial. En la figura 3, se observa la captura de pantalla de uno de los tutoriales, en este caso para la modelización de la pieza 2 del conjunto.

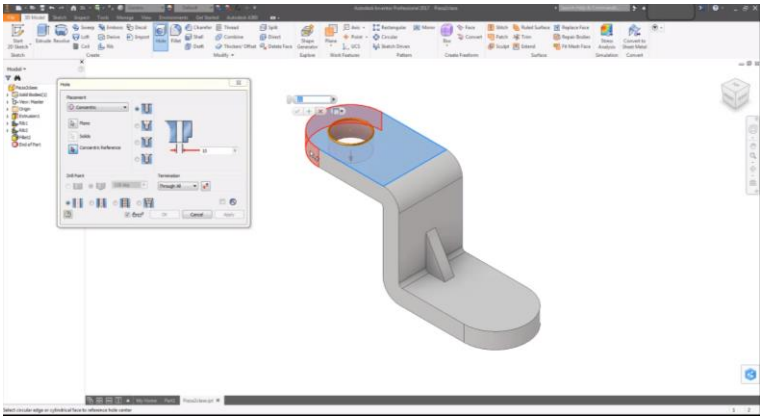


Figura 3: Captura de pantalla de un tutorial para modelizar una de las piezas.

- *Clases de consulta (sincrónicas):* Las clases de consulta sincrónicas permiten la interacción con el estudiante en tiempo real, permitiéndole vivenciar el contacto con su docente y sus compañeros, motivándolo, mejorando su desempeño, creando un sentido de comunidad educativa que asegura una mejor comprensión de los temas tratados en los tutoriales [8]. En la Figura 4, se observa una captura de pantalla de un encuentro sincrónico realizado a través de la aplicación Meet®.

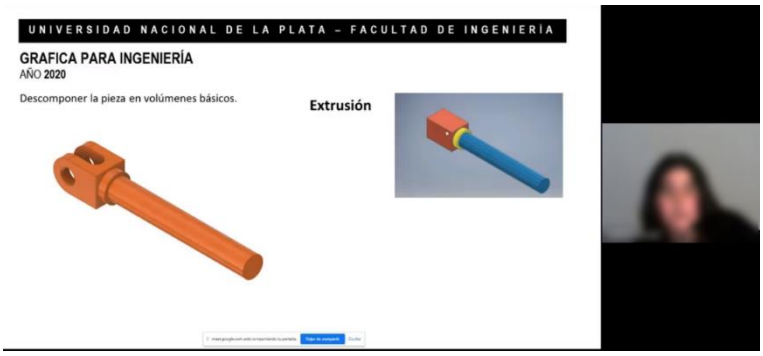


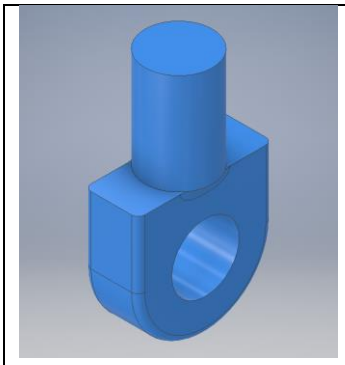
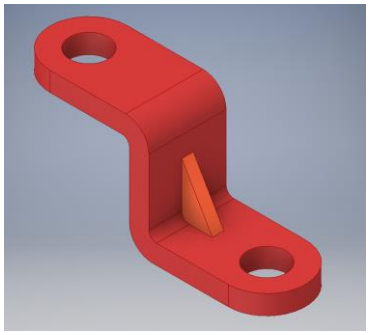
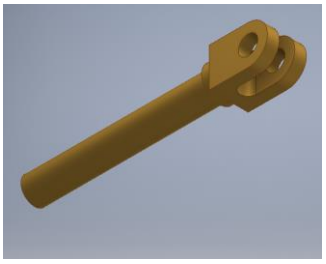
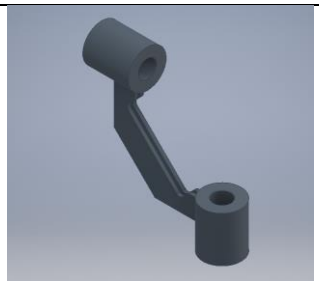
Figura 4: Captura de pantalla de una clase de consulta sincrónica por *Meet*®.

d. Modelado 3D del conjunto mecánico

- *Conjunto Mecánico propuesto*: El conjunto cardánico seleccionado está constituido por una serie de piezas (Tabla 2) de grados de complejidad creciente. Esto permitió ir presentando diversas operaciones de modelado 3D requeridas en cada pieza y la ejecución de los planos en una secuencia de actividades progresiva, en coincidencia con los temas desarrollados en el módulo teoría y en el módulo croquis. Por ejemplo, en la pieza 1 de la Tabla 2 se trabajaron operaciones básicas de extrusión y respecto a la realización del plano, el concepto de Vistas Fundamentales. En la pieza 3 se

incorporan recursos de modelado 3D más complejos como cambios de plano de trabajo, operaciones de modelado auxiliares y el agregado de refuerzos o costillas. La resolución del plano de la pieza 2 (Figura 5), por ejemplo, acompañó los temas desarrollados en el módulo de teoría de *Corte, Secciones y Arrancamiento* y una primera aproximación a *Acotamiento* (se solicitaron sólo cotas generales de la pieza). En las piezas 3 y 4, se sumaron operaciones de revolución y extrusión, cambios de plano, etc. evidenciando las posibilidades del programa para combinar operaciones.

Tabla 2: Piezas del conjunto mecánico

	
Pieza 1	Pieza 2
	
Pieza 3	Pieza 4

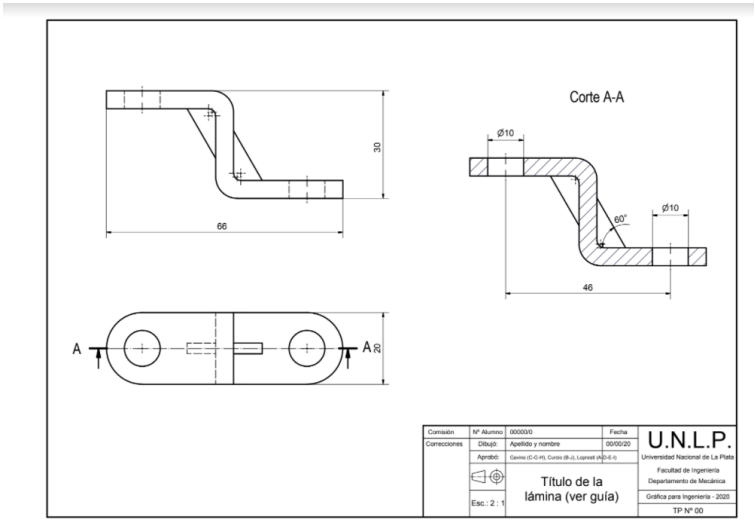


Figura 5: Ejemplo de plano, en este caso de la pieza 2.

- *Ensamble del Conjunto y simulación del movimiento:* el ensamble de todo conjunto requiere detectar adecuadamente los modos de vinculación de las partes, las posibles interferencias entre sólidos, las identificación de las características geométricas de

cada pieza: ejes, planos de trabajo del sistema de coordenadas, posibles planos auxiliares, etc., con el objeto de detectar qué tipos de vínculos se pueden establecer entre las partes y cuáles son las restricciones de movimiento adecuadas (giro, movimiento linear, etc.). Esta instancia, aunque en ella pueden detectarse algunas dificultades iniciales, es la más gratificante para los estudiantes ya que pueden observar que el conjunto “funciona”, es decir que las restricciones de movimiento impuestas son las adecuadas. En la Figura 6, se observa una vista del video generado simulando el movimiento del conjunto.

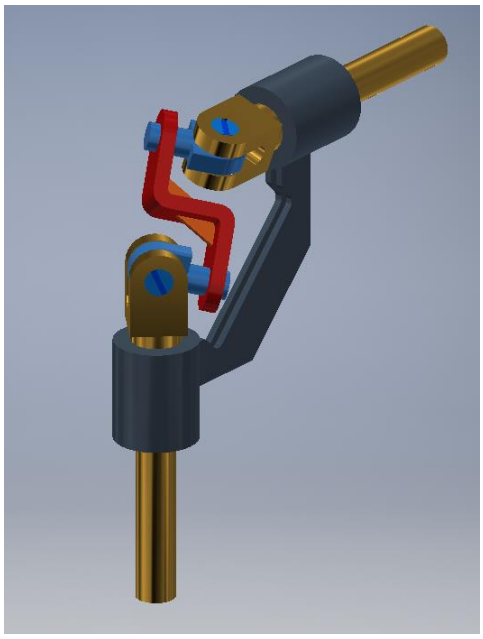


Figura 6: Vista del video del conjunto simulando el movimiento.

CONCLUSIONES

En el contexto de la virtualidad, el docente sigue enseñando, pero observamos que está ensayando un modo de enseñar en un aula virtual o mediada a través de otras estrategias no presenciales en asignaturas, como la nuestra, donde hasta el presente, todas sus propuestas de enseñanza estaban diseñadas para la presencialidad. Por lo tanto, fue necesario redefinir criterios de organización de contenidos, progresión de actividades, seleccionando el medio adecuado para su virtualización, los modos de comunicación entre docentes y alumnos, etc.

Las estrategias de mediación implementadas en esta etapa de la virtualidad, los recursos puestos en juego en la reconversión de la cátedra en “modo virtual”, nos han permitido, en primer término, preservar el vínculo con el estudiante, y luego consolidar un recorrido que fue adaptándose a los recursos disponibles (conectividad, computadora con software específico, etc.) tanto de los docentes como de los alumnos.

Pero es necesario, una vez completado el recorrido propuesto, preguntarnos: ¿aquellos saberes construidos en la virtualidad son equivalentes a los construidos en las instancias presenciales? La respuesta no es única ni definitiva. Los recursos tecnológicos disponibles para la conectividad no fueron equivalentes ni para los estudiantes ni para los docentes, situación que se procuró subsanar con la reconversión de las secuencias de enseñanza presenciales en video tutoriales y clases o encuentros sincrónicos, pero también a partir de las capacidades de aprendizaje autónomo de los estudiantes, se pudo observar un desempeño más que satisfactorio en las instancias finales de acreditación de la materia *Grafica para Ingeniería*. Siguiendo entonces, con la mirada atenta y continua sobre estos nuevos contextos de enseñanza y aprendizaje, próximas líneas de trabajo nos llevarán a

indagar si existe una equivalencia de saberes construidos en la virtualidad a los construidos en las instancias presenciales previas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Gavino, S.; Defranco, G.; Fuertes, L. (2006) Desarrollo de software educativo para la enseñanza del dibujo en las carreras de Ingeniería, I Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (I TE&ET) organizado por Facultad de Informática de la UNLP, 8 al 11 de agosto de 2006.

[2] Gavino, S., Defranco, G., Badenes, A., Fuertes, L., (2005), Utilización de las TICs para la enseñanza de los sistemas de representación en las carreras de Ingeniería", en actas de congreso con referato, TICEC05, I Congreso de Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Enseñanza de las Ciencias, La Plata, Argentina, 29 y 30 de septiembre de 2005.

[3] Graham, C.R. (2006) Blended learning systems: Definition, current trends, and future directions. Bonk & C.R. Graham (Eds.), The handbook of blended learning: Global perspectives, local designs. JosseyBass/Pfeiffer, San Francisco.

[4] De Benito, B.; Salinas J. (2008) Situaciones didácticas en entornos virtuales de enseñanza aprendizaje en la enseñanza superior. Grupo de Tecnología Educativa, Universidad Islas Baleares. Palma, España.

[5] Varios (2020) Experiencias formativas en entornos virtuales. Para equipos docentes. Universidad Nacional de San Martin, San Martin, Recuperado de: http://www.unsam.edu.ar/experienciavirtualdocente/experienciavirtualdocente.pdf

[6] Defranco, G.; Fuertes, L; Gavino, S.; Lopresti, L. (2018) Conjuntos Mecánicos en Entornos Virtuales de Simulación: una práctica de aprendizaje en los sistemas de representación en Ingeniería. IV Congreso Argentino de Ingeniería. Organizado por CONFEDI, UTN, UNC.

[7] González Castelán, Yazmín (2015) El video tutorial como herramienta de apoyo pedagógico. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado de: https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n1/e8.html

[8] Szpiniak, Ariel Ferreira (2020) Estrategias de enseñanza en la virtualidad. Universidad Nacional de Río Cuarto. Recuperado de: https://www.evelia.unrc.edu.ar/ensenaryAprenderEnLaVirtualidad/2020/12/02/estrategias-de-ensenanza-en-la-virtualidad/

CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA DEL FUNCIONAMIENTO DE UN TUBO VORTEX

Penillas Juan M.[1], Suarez Felipe J.[1], ParyGastón[1], Bosc Cristian[1], Mariani Néstor J.[2,3]

(1) Depto de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
(2) Depto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
(3) Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. J. J. Ronco" (CINDECA)
CONICET- UNLP - CIC BA
La Plata, Argentina
*e-mail: javier.mariani@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Tubo Vortex, separación de temperatura, eficiencia térmica, simulación numérica

INTRODUCCIÓN

El tubo del vórtice de Ranque-Hilsch es un dispositivo sin partes móviles que, sin aporte externo de energía, permite generar a partir de un fluido a presión que ingresa tangencialmente al tubo a través de toberas o boquillas, dos corrientes a diferentes niveles de temperatura. Fue descubierto en el año 1933 por el físico francés Georges J. Ranque, quien publicó un artículo [1] sobre un dispositivo, al cual denominó Tubo Vortex. Años más tarde, en 1947, el físico alemán Rudolf Hilsch publicó un artículo [2], retomando lo realizado por Ranque, sobre la construcción y el funcionamiento del mismo dispositivo. En honor a ambos, actualmente se conoce al dispositivo como Tubo Vortex de Ranque-Hilsch (TVRH).
Desde su descubrimiento, el funcionamiento de este dispositivo y los aspectos fenomenológicos referidos al mismo han concitado el interés de la comunidad científica, no habiendo a la fecha una teoría enteramente aceptada al respecto. Sin embargo, la ausencia de una explicación acabada no limitó sus aplicaciones ni su desarrollo industrial, utilizándose a la fecha en diversos campos como la refrigeración en operaciones de maquinado CNC, de componentes electrónicos, de cámaras CCTV, etc., mientras que la corriente caliente puede emplearse para el sellado de plásticos y el ablandamiento adhesivos, entre otros usos.
En este trabajo se plantea en primer término un análisis termodinámico teórico de un TVRH genérico. Posteriormente, se utiliza una plataforma CFD para desarrollar y obtener un modelo geométrico simplificado que permita reproducir con certidumbre y tiempos de cálculo acotados y razonables el desempeño de un TVRH del cual se cuenta con una caracterización experimental. Finalmente, los resultados de la simulación CFD son comparados frente a los valores experimentales y a los surgidos del análisis termodinámico teórico, discutiéndose aspectos relevantes como los puntos de operación y la eficiencia del dispositivo para distintas condiciones de trabajo.

1. Análisis termodinámico macroscópico

Se define un volumen de control (VC) representativo para un TVRH (Fig. 1) siendo las hipótesis de trabajo utilizadas:

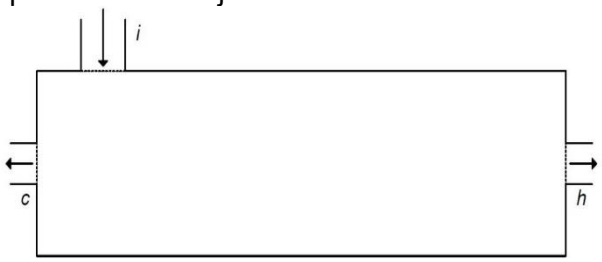


Figura 1: Volumen de control para el TVRH

i indica la entrada, *c* la salida fría y *h* la salida caliente.

- Sistema abierto en régimen permanente (SAP)
- Propiedades termofísicas constantes
- Gas ideal
- Sistema adiabático
- No existen aportes externos de trabajo
- Variación de energía potencial despreciable
- Presión en las salidas igual a la atmosférica
- Se trabaja con propiedades de estancamiento (subíndice 0, *e.g.* T_0)

Aplicando un balance de masa al VC de la Fig. 1 se obtiene,

$$\frac{\dot{m}_h}{\dot{m}_i} = (1 - \varepsilon_c) \quad , \quad \text{donde} \quad \varepsilon_c = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_i} \quad \text{fracción fría} \qquad (1)$$

Reemplazando el resultado del balance de masa (Ec. 1) en el balance de energía (Primera Ley de la Termodinámica) puede obtenerse,

$$T_{0,i} = (1 - \varepsilon_c)T_{0,h} + \varepsilon_c T_{0,c} \qquad (2)$$

Teniendo en cuenta que $0 \leq \varepsilon_c \leq 1$, $T_{0,c}$ presenta un límite superior dado por $T_{0,i}$ (en ε_c=1), y la $T_{0,h}$ presenta un límite inferior marcado por $T_{0,i}$ (en ε_c=0).

Reemplazando los resultados del balance de masa (Ec. 1) y de energía (Ec. 2) en el balance de entropía (Segunda Ley de la Termodinámica) puede obtenerse,

$$T_{0,i} e^{\Upsilon\Theta} \left(\frac{p_a}{p_i}\right)^{\Upsilon} = T_{0,h}{}^{(1-\varepsilon_c)} \left[\frac{T_{0,i} - (1 - \varepsilon_c)T_{0,h}}{\varepsilon_c}\right]^{\varepsilon_c} \qquad (3a)$$

$$T_{0,i} e^{\Upsilon\Theta} \left(\frac{p_a}{p_i}\right)^{\Upsilon} = \left[\frac{T_{0,i} - \varepsilon_c T_{0,c}}{(1 - \varepsilon_c)}\right]^{(1-\varepsilon_c)} T_{0,c}{}^{\varepsilon_c} \qquad (3b)$$

Las Ecs. (3a) y (3b) permiten obtener la temperatura de salida de cada corriente ($T_{0,h}$ y $T_{0,c}$) a partir de $T_{0,i}$, ε_c, p_i (presión de entrada) y p_a (presión atmosférica), $\Upsilon = R_g/C_p$ (exponente de enfriamiento isoentrópico) y $\Theta = \frac{\dot{\sigma}}{\dot{m}_i R_g}$ (entropía generada adimensional).

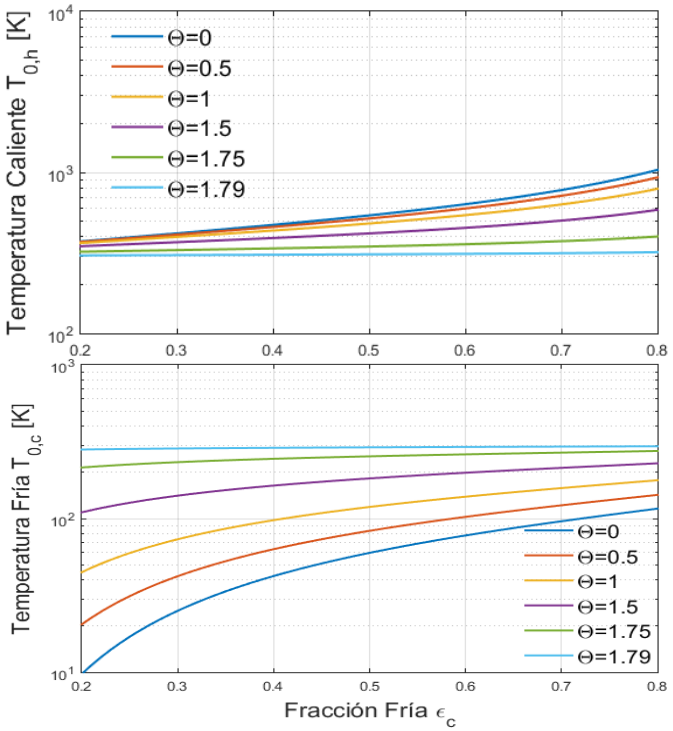


Figura 2: Temperaturas de salida ($T_{0,h}$ y $T_{0,c}$) vs ε_c

La Fig. 2 presenta los resultados para $T_{0,h}$ y $T_{0,c}$ frente a ε_c, con paramétrica Θ para aire con Υ=0.286, $T_{0,i}$=300 K y p_i=600 kPa.

La variación de ε_c se acotó entre 0.2 y 0.8, ya que estos son los límites de trabajo de la mayoría de las aplicaciones prácticas, incluido el TVRH simulado posteriormente (apartado 3).

Mientras que la variación de Θ está acotada entre 0 (proceso reversible) y Θ_{max} dado por las condiciones de entrada al sistema debido a la expansión que ocurre dentro del TVRH. El mismo se cuantifica como $\Theta_{max} = \ln p_i/p_a$, siendo 1.79 para el caso actual.

A partir de los resultados anteriores se puede concluir que existen 2 puntos característicos de funcionamiento, el de mínima temperatura cuando ε_c=0.2 y el de máxima cuando ε_c=0.8.

El TVRH puede utilizarse como dispositivo de enfriamiento o calentamiento, esto implica que para cada aplicación puede definirse una eficiencia en la forma de COP (coefficient of performance):

$$COP_c = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}} \qquad (4a) \qquad\qquad COP_h = \frac{\dot{Q}_h}{\dot{W}} \qquad (4b)$$

Debido a la particularidad de que, estrictamente, el TVRH no involucra ningún trabajo ($\dot{W}$), se propone en (4a) y (4b) contabilizar el trabajo de compresión para llevar el gas utilizado desde la presión atmosférica a la presión de entrada al dispositivo a través de un proceso que deberá especificarse [3].

Utilizando la Ec. 2 se puede demostrar que $\dot{Q}_c = \dot{Q}_h$. Por lo tanto, los COP también resultan iguales sin importar la aplicación que se esté considerando.
Si se especifica un proceso isoentrópico para el trabajo de compresión y operando con las Ecs. (4a) y (4b) se puede obtener una expresión para el COP_{iso}.

$$COP_{iso} = \frac{(1-\varepsilon_c)\left(\frac{T_h}{T_i}-1\right)}{\left[\left(\frac{p_i}{p_a}\right)^{\Upsilon}-1\right]} \quad (5)$$

donde el numerador es el término asociado al calor útil (puede expresarse en función de T_h o T_c). Nótese que en este caso las temperaturas deben ser las estáticas.
La variación del COP_{iso} frente a ε_c está dada únicamente por el término del calor útil, mientras que el término asociado al trabajo representa un factor de proporcionalidad.
La Ec. 5 permite cuantificar la variación del COP_{iso} con respecto a ε_c y Θ, si se define el tipo de gas (Υ) y los parámetros de entrada ($T_{0,i}$ y p_i). En la Fig. 3 se presenta tal variación (*i.e.*, COP_{iso} vs. ε_c) para aire (Υ=0.286) a $T_{0,i}$=300 K y p_i=600 kPa.

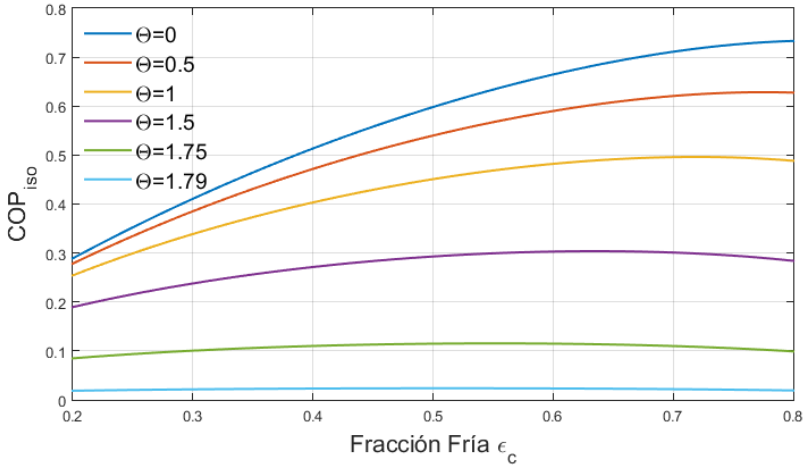


Figura 3: COP_{iso} vs ε_c

Cada una de las curvas de la Fig. 3, correspondientes a un dado valor de Θ, presenta un máximo absoluto. Tal punto indica el máximo aprovechamiento energético del sistema y se corresponde con un valor de fracción fría, a la cual se la denominará fracción fría óptima, $\varepsilon_{c,opt}$.
Se puede visualizar a partir de la Fig. 3 que este punto de funcionamiento óptimo, está acotado entre $0.5 \leq \varepsilon_{c,opt} \leq 0.8$, correspondiendo el límite inferior a la máxima irreversibilidad ($\Theta=\Theta_{max}$) y el límite superior al caso reversible (Θ=0). Se suma entonces un tercer punto característico de funcionamiento del TRVH para el cual la eficiencia es máxima y, por lo tanto, lo es la transferencia de energía.
Cabe destacar que los valores del COP_{iso} que resultan son considerablemente más bajos, aún en el caso ideal (Θ=0), que para la mayoría de los dispositivos de refrigeración o calefacción en sistemas por compresión. Este resultado indica que el TVRH trabaja con una baja eficiencia térmica.

2. Modelo matemático

El modelo geométrico utilizado consiste en el dominio bidimensional axi-simétrico, esquematizado en la Fig. 4, el cual es representativo de la geometría 3D del TVRH [4, 5, 6].
El aire de entrada al tubo es modelado como gas ideal con propiedades termo-físicas constantes. Se estableció como condición de entrada p_i=570 kPa, $T_{0,i}$=294 K y un vector director de entrada para la velocidad con un ángulo α=15° (respecto a la dirección tangencial).
Debido a que se simularon un conjunto de valores de ε_c (desde 0.2 hasta 0.8), para establecer cada uno se varió la presión en la salida caliente emulando la apertura de la válvula

reguladora, mientras que para la salida fría se estableció p_c=101.3 Pa. En cuanto a las paredes, se impusieron las condiciones de borde de adiabaticidad y no deslizamiento.

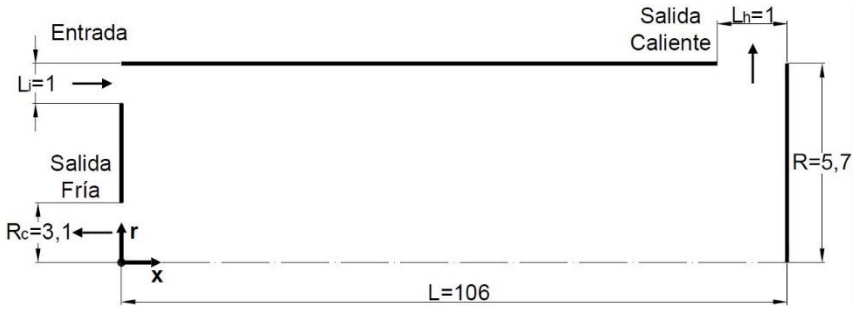


Figura 4: Modelo geométrico (medidas en mm)

Para todos los casos simulados se resolvieron las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento (en las tres direcciones) y energía (Ecs. 6, 7 y 8, respectivamente), asumiendo un flujo estacionario, 2D axi-simétrico con remolino, viscoso y compresible.

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \tag{6}$$

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v}\,\vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\bar{\tau}}) + \rho \vec{g} \tag{7}$$

$$\nabla \cdot [\vec{v}(\rho E + p)] = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T + (\bar{\bar{\tau}}_{eff} \cdot \vec{v})\right) \;\; ; \;\; \text{con } E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \;\; \text{y} \;\; k_{eff} = k + k_t \tag{8}$$

3. Modelo numérico

El modelado numérico se llevó a cabo con la plataforma Ansys-Fluent™, la cual emplea el método de volúmenes finitos (FVM) para la resolución de las ecuaciones. Se seleccionó el modelo de turbulencia Standard κ-ε, de tipo RANS que introduce dos parámetros, la energía cinética turbulenta (κ) y la tasa de disipación turbulenta (ε), que se emplean para el cálculo de la viscosidad turbulenta (μ_t). Aplicando la ecuación de transporte a estos dos parámetros se obtienen las dos ecuaciones de conservación propias del modelo κ-ε (Ec. 9 y 10), las cuales, junto con las Ecs. (6-8), forman las siete ecuaciones de conservación a resolver. Como criterio de convergencia aplicado a las ecuaciones de conservación se estableció que todos los residuos deben ser inferiores a $1 \cdot 10^{-5}$.

$$\frac{D}{Dt}(\rho\kappa) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\kappa}\right)\frac{\partial \kappa}{\partial x_j}\right] + S_\kappa - \rho\varepsilon \tag{9}$$

$$\frac{D}{Dt}(\rho\varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + C_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{\kappa}S_\kappa - \rho C_{\varepsilon 2}\frac{\varepsilon^2}{\kappa} \tag{10}$$

Donde la viscosidad turbulenta, μ_t, se define como:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{\kappa^2}{\varepsilon} \tag{11}$$

Los valores de las constantes del modelo Standard κ-ε utilizado por Ansys-Fluent™ son: C_μ=0.09; $C_{\varepsilon 1}$=1.44; $C_{\varepsilon 2}$=1.92; σ_κ=1; σ_ε=1.3.

Se implementó una malla de tipo estructurada, con elementos cuadrados con los siguientes parámetros para maximizar la calidad del mallado: skewness 0, suavidad 1 y relación de aspecto 1. Para el estudio de independencia se propusieron 5 mallas con tamaños de celda diferentes y se las simuló para una fracción fría ε_c=0.58. Como criterio de independencia se analizó la temperatura de estancamiento ponderada en masa (*i.e.*, valor de mezclado en taza) para la salida fría, dado que es la principal variable de interés y se estableció la condición:

$$CI = \left|\frac{T_{0,c}{}^{j} - T_{0,c}{}^{j+1}}{T_{0,c}{}^{j}}\right| < 1 \cdot 10^{-3} \tag{12}$$

donde $T_{0,c}{}^{j}$ es valor para la salida fría para la malla actual (j) y $T_{0,c}{}^{j+1}$ el valor para la malla (j+1) más refinada.
Se obtuvo que la tercera malla es la primera en cumplir el criterio de postulado en (12), la cual está conformada por celdas de 0.125 mm de lado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La validación del modelo CFD propuesto se realizó comparando los resultados obtenidos para las temperaturas de estancamiento ponderadas en masa para las salidas fría y caliente y los valores experimentales presentados por Skye et. al. [7] para un TVRH comercial. En la Fig. 5 se presentan la comparación de tales temperaturas para el caso de la corriente fría y caliente, incluyéndose, adicionalmente, los resultados de las simulaciones realizadas en el mismo trabajo [7].

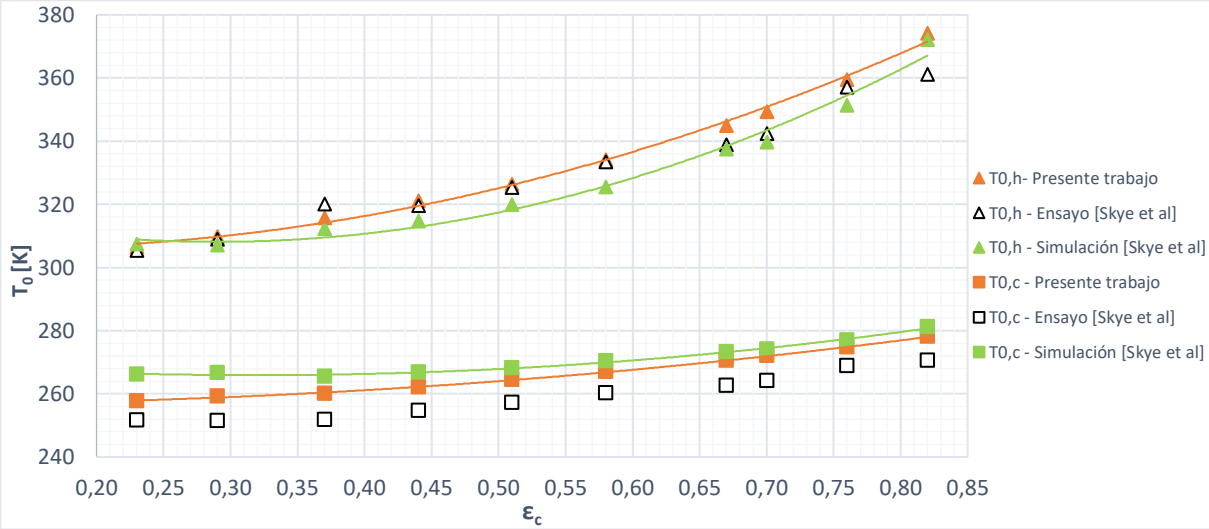


Figura 5: Valores simulados y experimentales de $T_{0,h}$ y $T_{0,c}$ vs ε_c

Observando la Fig. 5, se puede apreciar que los valores obtenidos a través de la simulación realizada en el presente trabajo permiten reproducir de una manera satisfactoria la tendencia que presentan los resultados experimentales, a la vez que, se ha logrado una mejora respecto a la simulación realizada por Skye et al. [7]. La mayor diferencia relativa con respecto a los valores experimentales para $T_{0,h}$ se presenta para ε_c=0.82 resultando de alrededor del 3.6% (13 K), mientras que para $T_{0,c}$ se presenta para ε_c=0.37 y es de aproximadamente 3.3% (8 K). En vista de los resultados obtenidos se concluye que el modelo propuesto resulta válido para predecir el comportamiento del TVRH.
Las tendencias de las curvas mostradas en la Fig. 5, tanto para los datos experimentales como para las simulaciones, se corresponden con las curvas de la Fig. 2. En función de las temperaturas alcanzadas y comparando con las predicciones teóricas, se puede afirmar que el fenómeno presenta un alto grado de irreversibilidad, acotado entre las curvas de entropía generada adimensional igual a 1.75 y 1.79 (comparar las Figs. 2 y 5).
La Fig. 6 muestra los resultados del COP_{iso} promedio obtenido en la simulación frente a ε_c, incluyendo las curvas teóricas correspondientes a Θ=1.75, Θ=1.77 y Θ_{max}=1.79. Se observa que los resultados de la simulación pueden ser representados aproximadamente por la curva teórica correspondiente a Θ=1.77, muy próxima a la de Θ_{max}, lo cual demuestra que el sistema presenta una muy importante generación de entropía (*i.e.*, alto grado de irreversibilidad).
A partir de la Fig. 6 se confirma la existencia del punto de funcionamiento de máxima eficiencia en ε_c=0.58. Surge, de este modo, la existencia de 3 puntos de funcionamiento característicos del TVRH para aplicaciones prácticas: mínima y máxima temperatura y máxima eficiencia, siendo el de mínima temperatura el de menor eficiencia.

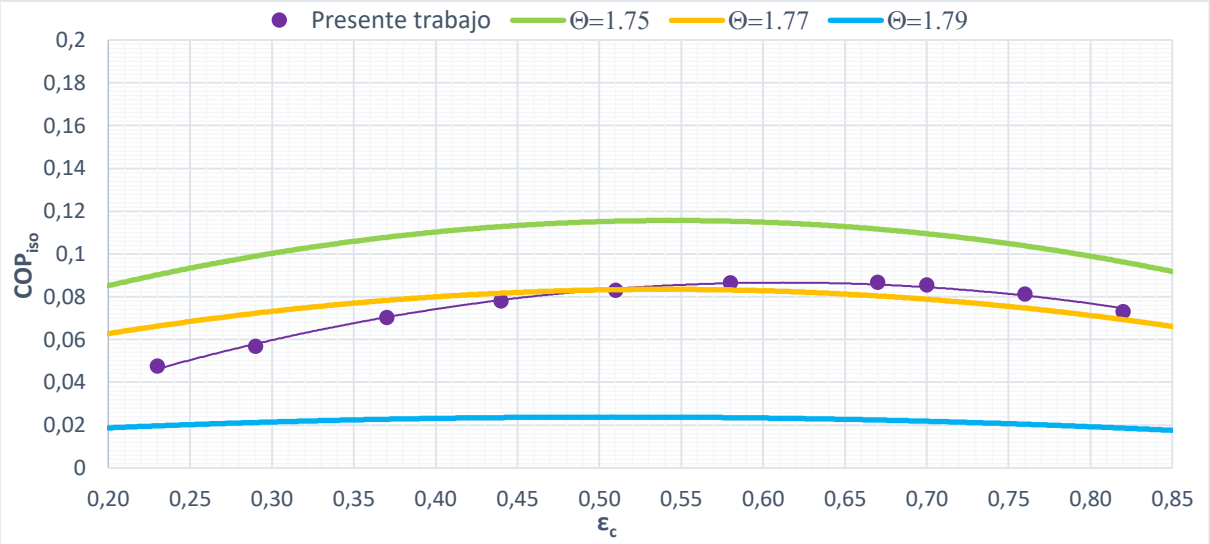


Figura 6: COP_{iso} vs ε_c para la presente simulación incluyendo curvas teóricas para distintos valores de Θ

CONCLUSIONES

A partir de los avances realizados en el estudio de los TVRH y de los resultados obtenidos en este trabajo surgen los siguientes logros y conclusiones:

- Se pudo obtener de manera teórica una expresión para cuantificar la eficiencia energética (COP_{iso}), a la vez que, a partir del COP, se puede hallar el punto de operación de máxima eficiencia, esto es, el óptimo para la transferencia de energía.
- Fue posible desarrollar y emplear un modelo CFD con una geometría simplificada 2D, que permite alcanzar resultados representativos de un TVRH con una buena concordancia con los datos experimentales.
- Se pudo verificar la existencia de tres puntos característicos de funcionamiento, el de mínima temperatura (ε_c=0.2), el de máxima temperatura (ε_c=0.8) y el de máxima eficiencia ($\varepsilon_{c,opt}\approx$0.6) para el TVRH simulado.
- El sistema resulta altamente ineficiente conforme el valor que surge para el COP_{iso} (inferior a 0.1), siendo, a su vez, un proceso altamente irreversible debido a que la generación de entropía es cercana a la máxima posible (Θ/Θ_{max}>0.95).

Agradecimientos

Los autores agradecen el aporte financiero de las siguientes instituciones CONICET (PIP 0018) y UNLP (PID I226). NJM es investigador del CONICET. FJS es becario de la CIC BA.

Referencias

[1] G.J. Ranque. *Expériences sur la Détente Giratoire avec Productions Simultanées d'un Echappement d'air Chaud et d'un Echappement d'air Froid*. J. de Phys. et Rad., 4-7, 112-114, 1933.

[2] R. Hilsch. *The use of the expansion of gases in a centrifugal field as cooling process*. The Rev. of Sci. Inst., 18-2, 108-113, 1947.

[3] C. Gao. *Experimental study on the Ranque-Hilsch vortex tube*. Tech. Univ. Eindhoven, 2005.

[4] N.F. Aljuwayhel, G.F. Nellis, S.A. Klein. *Parametric and internal study of the vortex tube using a CFD model.* Int. J. of Ref., 28-3, 442-450, 2005.

[5] R. Shamsoddini, A. H. Nezhad. *Numerical analysis of the effects of nozzles number on the flow and power of cooling of a vortex tube.* Int. J. of Ref., 33, 774-782, 2010.

[6] E. D. Dos Santos, C. H. Marques, G. Stanescu, L. A. Isoldi, L. A. O. Rocha. *Constructal Design of Vortex Tubes*. Constructal Law and The Unifying Principle of Des., 1, 259-273, 2013.

[7] H.M. Skye, G.F. Nellis, S.A. Klein. *Comparison of CFD Analysis to Empirical Data in a Commercial Vortex Tube*. Int. J. of Ref., 29-1, 71-80, 2006.

Obtención de una bomba impulsora en dos aleaciones de aluminio AA356 y AA206 por el método de colada por gravedad.

F. Ruiz Diaz[(1)], **J. Lacoste**[(1)], **L Feloy**[(1)], **A. L. Cozzarín**[(1)], **D. Tovio**[(1)], **E. Maffia**[(1)]

(1) ProInTec I&D - Departamento de Mecánica Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP) Calle 1 y 47, Tel: 423 – 6677/8 Interno 185
(2) *La Plata, Buenos Aires, Argentina.*
fernando.ruizdiaz@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: Bomba Impulsora, colabilidad, solidificación.

INTRODUCCIÓN

Las bombas impulsoras es un sistema mecánico muy utilizado en la fabricación de cohetes espaciales, y se encargan de transmitir la fuerza impulsora al propelente que ingresa al motor, y permite la propulsión del cohete.

Los materiales mas utilizados para la fabricación de las bombas impulsoras son las aleaciones de aluminio. Estas aleaciones presentan una serie de ventajas con respecto a otras como lo es su relación resistencia/peso, su fabricabilidad, es decir, su posibilidad de obtenerlo por métodos convencionales de fusión y colada, y la posibilidad de ser un material reciclable. Estos son los puntos mas importantes para la fabricación en la industria aeroespacial.

Este presenta grandes ventajas con respecto a otros materiales, alguno de ellos son la reciclabilidad, el desarrollo de aleaciones de alta resistencia, la particularidad de poder obtener piezas complejas y de bajo peso entre otros. Este último es uno de los puntos fundamentales para la fabricación de piezas empleadas en el campo aeronáutico y aeroespacial, particularmente porque permite un ahorro de combustible al realizar diseños que conlleven una disminución del peso del componente.

Para poder llevar a cabo la obtención de piezas complejas y de alta prestación mecánica, se deben mejorar los procesos de fusión y colada, trabajando sobre las variables intrínsecas del líquido en su etapa de solidificación. Una de esas variables es la colabilidad, una característica que permite el llenado del molde**.**

El objetivo del presente trabajo es la obtención de las bombas impulsoras a partir de dos aleaciones AA356 y AA 206, trabajando sobre la colabilidad de las aleaciones y mejorando el diseño de los moldes. Una de las variables para e avaluar la colabilidad, es la fluidez.

Una de las variables a tener en cuenta al momento de evaluar la colabilidad de un material para la obtención de una pieza es la fluidez, la fluidez se puede definir como la capacidad que tiene el metal de fluir a través del interior del molde y llenar cada uno de los huecos intersticiales dentro del propio material [1]. Las pruebas más utilizadas para medir esta característica es la utilización de un molde con forma de espiral, y en un

recipiente donde se vierte el metal líquido y se realiza vacío para obtener una medida de la distancia recorrida por el metal.

Los factores que pueden influir en la fluidez del líquido son el rango de temperatura de solidificación, la viscosidad, la tensión superficial de la masa fundida y la cantidad de inclusión presente en el líquido. [2]

Otro de los factores que afecta considerablemente en la fluidez de las aleaciones de aluminio es la composición química, y varios trabajos han demostrado que el aumento en el contenido de Si, aumenta la fluidez del material debido al alto calor latente del silicio, mientras que el contenido de Mg, provoca una disminución de la misma. El magnesio reacciona con el medio ambiente generando oxido de magnesio, o puede formar inclusiones que disminuyen la fluidez del líquido [3]. Estudios han demostrado, que un porcentaje entre 2 – 4 % de Mg en las aleaciones aluminio-magnesio disminuye considerablemente la fluidez con respecto al aluminio puro [4].

Las paredes del molde también juegan un papel importante en la fluidez del metal líquido, para aquellas piezas de paredes finas, la extracción de calor debido al molde puede provocar un llenado incompleto.

Otros de los factores que intervienen en el comportamiento de la fluidez es la temperatura de colada. Algunos autores indican que se da una tendencia lineal entre aumento de temperatura o sobrecalentamiento y la fluidez, y la explicación se da al indicar que hay mayor flujo de calor a disipar antes de que comience la solidificación. En experiencias realizadas en moldes en forma de espiral, han arrojado resultados que 1 °C de sobrecalentamiento, da un aumento del 1% en la fluidez del material. [5].

DESARROLLO

El desarrollo experimental se realizó en las instalaciones de la UIDET ProInTec I&D de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Parte de la necesidad de una empresa en obtener las bombas impulsoras en las aleaciones antes mencionadas. Pruebas de llenado sobre estos mismos moldes habían arrojado resultados negativos, uno de los inconvenientes era que debido a la baja colabilidad de las aleaciones, los alabes estatóricos de la voluta de combustible salían incompletos. Para poder corregir esos defectos en las piezas era colar las aleaciones a una mayor altura para obtener un aumento de la presión metalostática de llenado, aunque esta alternativa traería problemas como un mayor aumento de oxidación del líquido y posibles defectos en la pieza.

Para llevar a cabo el trabajo se obtuvieron las aleaciones por fusión y colada en un horno crisolero cuyo calentamiento se da a partir de una mezcla de gas y aire. Para la preparación de las aleaciones se parte de lingotes de aluminio puro, llevándolos a una temperatura de 780 ºC para luego introducir los elementos aleantes que corresponden para cada una de las aleaciones. Si bien una alta temperatura en el proceso de fusión conlleva a un aumento de la concentración del gas hidrogeno en el baño líquido, permite disminuir los tiempos de disolución de elementos aleantes como el cobre y el silicio. El cálculo de carga se realiza para obtener aproximadamente 45 Kg de cada una de las aleaciones que permitirán realizar la experiencia. Una vez disueltos los elementos aleantes, se extraen una muestra para medir su composición química y así ajustar en caso de que sea necesario. El mismo se realiza a partir de un analizador xrf portátil, la composición química de las muestras se muestra en la tabla 1.

Tabla N°1 : Composición química de las aleaciones.

Aleación	Cu %	Mg %	Mn %	Si %	Otros
206	4.2-5.0	0.15-0.35	0.2-0.5	0.1 Máx.	0.15 Máx.
356	0.25 Máx.	0.2-0.45	0.35 Máx.	6.5-7.5	0.15 Máx.

Luego de obtener la composición adecuada, se procede a mantener a la temperatura de colada, este paso se realiza en otro horno cuyo calentamiento se da por resistencia eléctrica, el cual permite fijar una temperatura de mantenimiento para luego realizar el llenado de los moldes. Antes de retirar el crisol, se lleva a cabo el proceso de desgasificado, el mismo consiste en burbujear gas nitrógeno a partir de la introducción de una lanza de grafito con tapón poroso dentro del crisol que contiene la aleación de aluminio. Finalmente se retira el crisol, se controla la temperatura de vertido a partir de un pirómetro con termocuplas tipo k.

Los datos bibliográficos establecen que la temperatura de colada para la aleación AA206 es de 660 °C, mientras que para la aleación AA356 es aproximadamente de 620°C, sin embargo, teniendo en cuenta las dimensiones de las piezas, como también su diseño complejo, las pruebas se van a realizar con un sobrecalentamiento de unos 80° C.

En la figura 1 se observa un dibujo esquemático en 3D de una de las piezas perteneciente a la voluta de combustible.

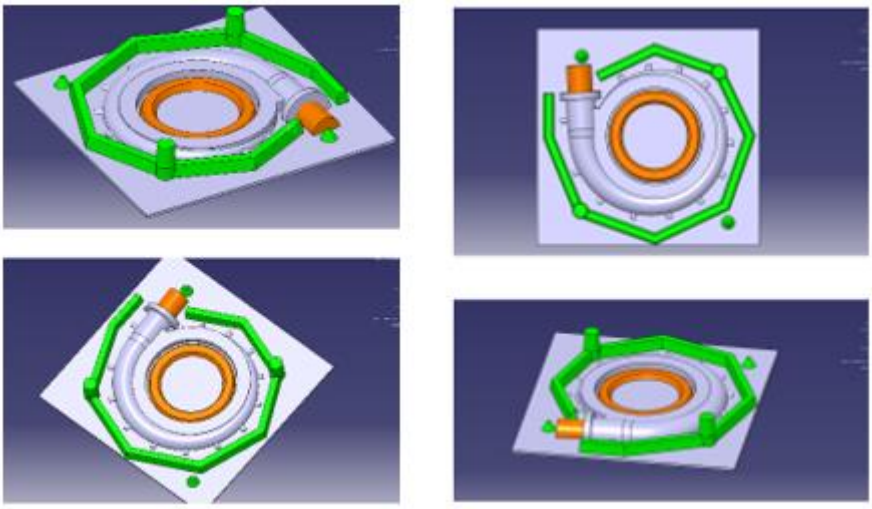


Figura 1: Modelo en 3D de la pieza a fundir.

En la figura se puede observar tres tonos de colores, la pieza (color gris), el noyo (color anaranjado) el cual genera el hueco interior de la pieza, y el canal de colada y montante (color verde). Como se observa en la figura, la pieza cuenta con dos montantes los cuales sirven para compensar la contracción del líquido en el momento de la solidificación.

En la figura 2 se observa una imagen de la parte superior del molde de arena (denominada “sobre”), en la que se puede visualizar el canal de alimentación, los lugares

destinados para los montantes, y además, enfriadores cuyo objetivo es provocar una rápida solidificación en esa zona, para prevenir la utilización de montantes.

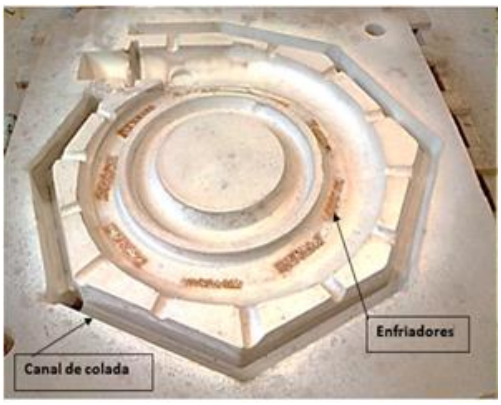


Figura 2: Molde de arena (parte inferior) de la pieza a colar.

Los moldes correspondientes a la parte rotatoria de la pieza, también poseía enfriadores y montantes en el centro y en los exteriores. En las imágenes siguientes se puede observar la parte superior e inferior de los moldes de arena de donde se obtuvieron las piezas. Si bien se observa una sola imagen de cada parte, se contaba con los moldes para la obtención de cada juego de la turbobomba en las dos aleaciones.

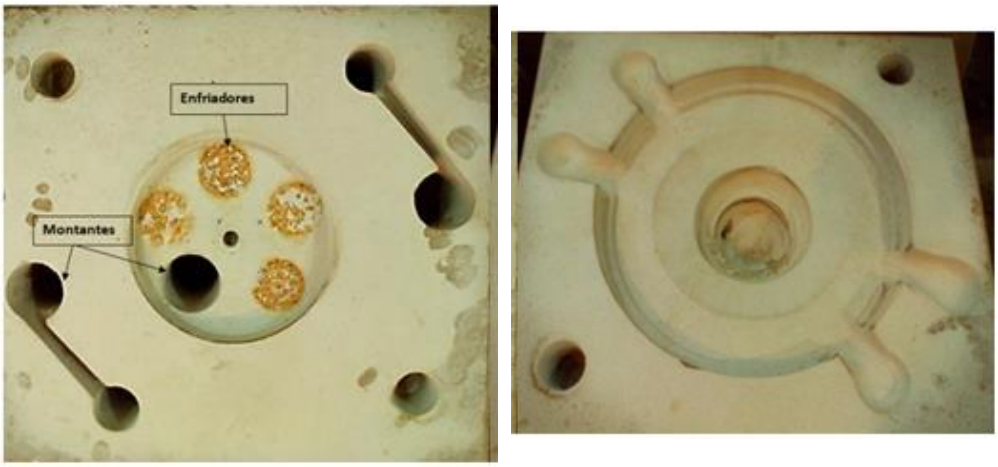


Figura 3: Molde de arena del rotor.

Teniendo en cuenta que los alabes son uno de los puntos claves en la obtención del rotor, se procedió a la observación a partir de una sonda boroscópica, en la pieza colada y solidificada, para encontrar posibles fallas de llenado o defectos superficiales como se observa en la imagen 4.



Figura 4: Análisis del rotor por zona boroscopica.

El recorrido con la sonda por el interior del impulsor arrojó resultados positivos con respecto a la sanidad de los alabes y paredes interiores, esto es el resultado de aumentar la temperatura para mejorar la colabilidad de las aleaciones y poder llenar aquellos lugares complicados antes que solidifique la aleación. Sin embargo, en la cara superior del impulsor, se observaron restos de inclusiones de arena, esto se debe al barrido de partículas de arena, productos de la alta temperatura del metal líquido.



Figura 5: Análisis del rotor por zona boroscopica.

Si bien en la imagen no se llega a observar claramente, aparecen zonas de depresión en la superficie, este es un defecto que se da en las piezas obtenidas por fusión y colada, cuando se tiene un material con un alto porcentaje de contracción, y donde el montante no alcanza para revertir esa condición. Para poder corregir este defecto en la pieza de la otra aleación, se agrando el montante, favoreciendo el buen llenado de la pieza.

En las figuras siguientes se observan las piezas que corresponden al diseño de la bomba.



Figura 6: Pieza obtenida en la bomba impulsora.

Al igual que el rotor, se observaron zonas de depresión del líquido, principalmente entre el espacio que separaba a los enfriadores. Esto es una de las consecuencias de falta de montante en zonas en las que se quiere obtener una buena terminación.

En la figura 7 se puede observar la bomba impulsora, la misma pudo obternerse sin defectos que perjudiquen el funcionamiento de la misma.



Figura 7: Pieza final de la bomba.

CONCLUCIONES

- Si bien el aumento de temperatura aumenta la colabilidad, hubo que implementar una solución de compromiso pues el aumento de temperatura aumenta el porcentaje de solubilidad de gas en el metal líquido, y además promueve la aparición de inclusiones en la pieza final.

- Si bien la aleación AA206 posee una resistencia mecánica superior a las AA356, al tener menor colabilidad obliga a aumentar la temperatura de colada afectando la sanidad de la aleación.

- El magnesio juega un rol fundamental en la fluidez de las aleaciones, pero la misma puede ser contrarrestada con el aumento del gradiente de temperatura.

REFERENCIA.

[1] ASM Metals Handbook volumen 15, “Casting”, Colabilidad de metales no ferrosos.

[2] L. Wang, M. Makhlouf, and D. Apelian Aluminium die casting alloys: alloy composition, microstructure, and properties-performance relationships. International Materials Reviews 1995 Vol. 40 No.6

[3] C. N. COCHRAN, D. L. BELITSKUS, AND D. L. KINOSZ. Oxidation of Aluminum-Magnesium Melts in Air, Oxygen, Flue Gas, and Carbon Dioxide. Metallurgical Transcation B, 8B (1) (1977),

323-332.

[4] Nam-SeokKim, Seong-Ho Ha, Young-Ok Yoon. EFFECT OF Mg CONTENTS ON FLUIDITY OF Al-xMg ALLOYS. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2013.

[5] K.R. Ravi a, R.M. Pillai. Fluidity of aluminum alloys and composites: A review. Journal of Alloys and Compounds 456 (2008) 201–210.

RELEVAMIENTO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA E IMPRESIÓN 3D DE UNA PIEZA MECÁNICA

Speroni, L.- Lopresti, L. - Gavino, S. - Fuertes, L. - Defranco, G.

UIDET Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada - Facultad de Ingeniería - UNLP
AV. 1 y 47 1900 - La Plata, Argentina - lucas.speroni@ing.unlp.edu.ar

Resumen:

El presente trabajo constituye una descripción experimental del proceso de ingeniería inversa aplicado a una pieza mecánica utilizando equipos de bajo costo. Se realiza un relevamiento digital de la pieza a partir de una serie de capturas de fotografías que luego son procesadas por un software dedicado a la fotogrametría. Con las fotografías tomadas bajo ciertas pautas, el programa reconoce puntos en común entre las imágenes, que sirven para ubicar la información en el espacio y generar un modelo 3D. Este modelo es exportado a un software de relevamiento para obtener mediciones de sus cuerpos geométricos básicos y comparar las dimensiones con las del objeto real para estimar el error relativo generado en el relevamiento fotogramétrico. El mismo modelo 3D es utilizado luego para materializar un prototipo de la pieza mediante impresión por deposición de material fundido.

Palabras Clave: ingeniería inversa, relevamiento digital, fotogrametría, impresión 3D.

INTRODUCCIÓN

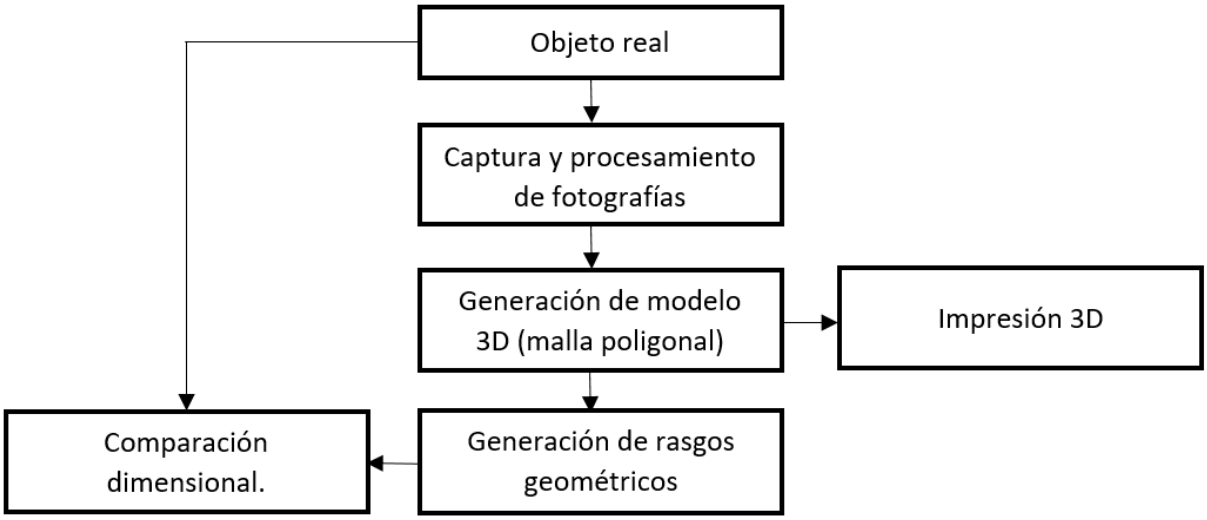
En el marco del proyecto de investigación “Modelos digitales de componentes del patrimonio industrial a partir del modelado paramétrico y técnicas de relevamiento de bajo costo. Entornos virtuales e impresión 3D. Aplicaciones en ingeniería inversa y la enseñanza de los sistemas de representación” (11/I242), el cual se encuentra en desarrollo en la UIDET-Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada, se relata un proceso de ingeniería inversa aplicado a una pieza mecánica mediante fotogrametría y la posterior obtención de un prototipo mediante impresión 3D. Este proceso, consiste en resolver el relevamiento de una pieza seleccionada a partir de una secuencia de fotografías que luego son procesadas por un software específico, el cual crea una nube de puntos y, a partir de ellos, una malla de triángulos que conforman una superficie cerrada que reproduce tridimensionalmente al objeto fotografiado. De esta manera se obtiene un modelo 3D que puede ser redimensionado a escala real, para ser medido y exportado a un software de impresión 3D para obtener un prototipo de la pieza. Luego se realizan mediciones en la pieza real para comparar las dimensiones con las obtenidas en el modelo 3D, para así poder estimar el error dimensional del procedimiento.

Para obtener buenos resultados utilizando el método de fotogrametría, hay ciertas aspectos que se deben cumplir en las condiciones en las cuales las fotografías son tomadas y la configuración de la cámara [1] [2] [3]:

- buena iluminación evitando reflejos y sombras
- Sensibilidad ISO: lo más baja posible para no perder calidad en la imagen.
- velocidad de obturación: la más rápida posible para obtener imágenes nítidas
- apertura: lo más alta posible para tener suficiente profundidad focal.

Hay que tener en cuenta que estos cuatro factores son dependientes entre sí, por lo tanto modificar uno afecta al otro. La cantidad de fotos necesarias depende de las dimensiones y morfología del objeto, pero se recomienda tener un solapamiento del 50% entre fotografías.

Los pasos de trabajo realizados se resumen en el siguiente diagrama de flujo (cuadro 1)



Cuadro 1 - Diagrama de flujo del proceso.

DESARROLLO

a. Relevamiento fotogramétrico

El procedimiento se aplica a una pieza de revolución de aplicación mecánica (figura 1), de superficie no reflectante y a la cual se le realizaron marcas removibles que ayudan al software a reconocer puntos homólogos en la pieza y alinear las fotografías. Dada su morfología no se necesita gran cantidad de fotos lo que ayuda a que no se eleven demasiado los requisitos computacionales para el procesamiento de las mismas y el tiempo de trabajo. Se tomaron 50 fotografías divididas en tres etapas. En las primeras dos, se cambió el ángulo de incidencia de la cámara capturando 20 imágenes en cada etapa, mientras que en la última se dio vuelta la pieza para poder fotografiar el objeto en su totalidad. En todos los casos la distancia fue de aproximadamente 30 cm.



Figura 1 - Ejemplos de cada etapa de la sesión de fotos.

Para una mejor iluminación sobre la pieza, se utilizaron lámparas led de luz blanca fría que no iluminan directamente sino que lo hacen a través de papel vegetal que sirve para difuminar la luz y así evitar reflejos y sombras. En la Figura 2 se puede observar el prototipo de caja de luz utilizado. En las Tabla 1 y Tabla 2 se encuentra la configuración de cámara utilizada y los elementos de iluminación respectivamente.



Figura 2 - Proceso de captura de fotografías.

Tabla 1 - Configuración de la cámara

Cámara	Canon Rebel eos T5i
ISO	400
Apertura	f/16
Vel. de obturación	1/13 s
Distancia focal	35 mm
Resolución	5184 x 3456

Tabla 2 – Instrumentos de Iluminación

Tipo	Lámpara LED	Tira LED
Color	Blanca fría	Blanca fría
Pot.	4 W	2,9 W
Cant.	2	1 (30 Leds)

b. Procesamiento de las fotografías

Una vez realizadas las capturas de todas las fotografías, se compilan en un software encargado de alinearlas y crear una nube de puntos que sirve para la obtención de una superficie creada a partir de una malla de triángulos. El software utilizado en esta instancia es el *Agisoft Photoscan*® v 1.2.0 [4]. Para que la nube de puntos no contenga información ajena a la pieza que se quiere relevar se crea una máscara en cada fotografía para que el programa ignore el contorno no seleccionado. Hay distintos métodos que las generan casi automáticamente evitando tener que crear máscaras de a una en cada foto. Aquí se describe uno de los tantos métodos existentes que es el que se utilizó en este estudio. Este método consiste en tomar una imagen que solo contenga el fondo utilizado en las fotos para que el programa pueda diferenciar el fondo del objeto (figura 3).

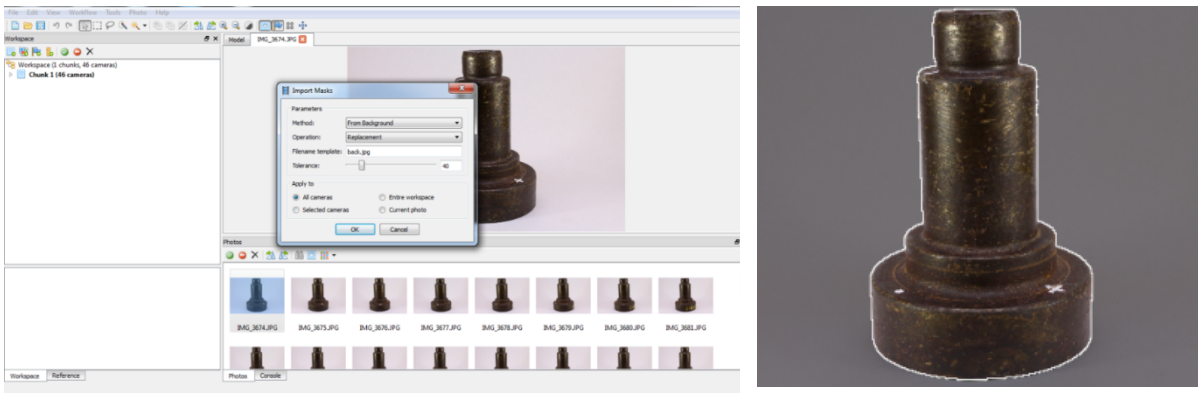


Figura 3 – Creación de máscara y resultante de la máscara aplicada.

c. Alineación de las fotos y generación de la nube de puntos

Una vez generadas las máscaras se comenzó la producción del modelo siguiendo los pasos de la pestaña *WORKFLOW*. Primero se alinean las fotografías (*Align photos*) lo que genera una nube de puntos dispersa y luego, en el paso siguiente, se genera una nube de puntos "densa" (*Build dense cloud*). Por último se procesan los puntos para obtener la malla (*Build Mesh*). En la figura 4 se pueden observar las tres etapas mencionadas anteriormente en la captura de fotografías cuando se genera la nube de puntos dispersa.

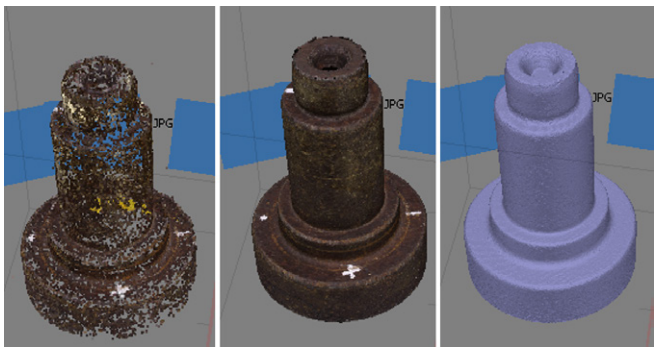


Figura 4 - Etapas de la construcción del modelo.

La cantidad de triángulos obtenidos en esta etapa depende de la nube de puntos generada y determinará los detalles que se pueden alcanzar en la pieza relevada. Muchos triángulos en el modelo 3D significarán un modelo más pesado para trabajar y según la pieza, esto puede no ser necesario. Es por eso que en este tipo de piezas no se recomienda configurar los pasos de trabajo en *Ultra High*, ya que demanda mucha potencia computacional y aumenta considerablemente el tiempo de procesamiento. Una vez obtenida la malla, el modelo se puede exportar en otro formato y ser editado en otros programas.

d. Edición del modelo 3D

Para escalar y orientar el modelo, se ha exportado el archivo en formato OBJ al software *Geomagic Studio® 11*. Este tipo de programa posee herramientas de control dimensional más versátiles y la ventaja de poder reconocer y generar rasgos geométricos de los modelos escaneados, como pueden ser en este caso distintos planos y cilindros (Figura 5). Dado que la superficie obtenida no es completamente lisa, medir distancias entre pares distintos de puntos de la malla poligonal no es lo más adecuado, por lo tanto se utilizan estos rasgos para mensurar el modelo 3D [5]. Luego, se utiliza una dimensión ($Ø_0$) del objeto real para escalar el modelo 3D. Para ello, se realizaron una serie de mediciones (figura 6) de la pieza con un calibre con una apreciación de 0,05 mm

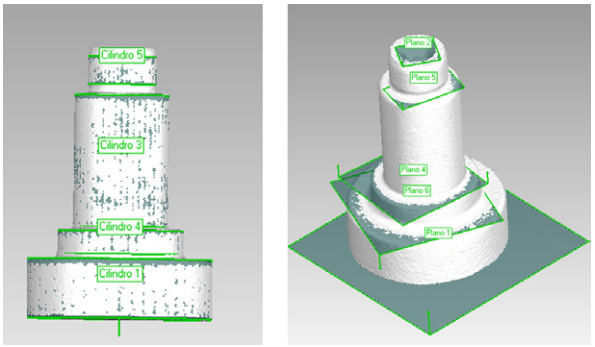


Figura 5 - Rasgos geométricos y escalado.

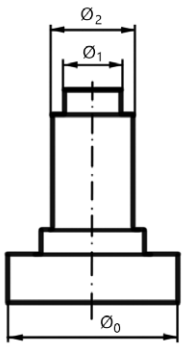


Figura 6 – Mediciones realizadas

e. Prototipado mediante impresión 3D

Para realizar un prototipo rápido del modelo (figura 7) y poder realizar mediciones sobre el mismo, se imprimió mediante FMD en PLA. La impresora 3D utilizada es una *Powerwasp Evo* (cartesiana), disponible en la UIDET GIGA de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. El software utilizado para la generación del código G de impresión es el *Cura*®, con las siguientes configuraciones que aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3 - Configuración de la impresión.

Software	Cura
Temp. De impresión	185ºC
Temp. De cama	-
Material	PLA
Velocidad de impresión	25 m/s
Altura de capa	0,3 mm
Infill	10 %
Soporte	No
Vel. De retracción	45 mm/s
Espesor de pared	1 mm
Tiempo	1:40 hs

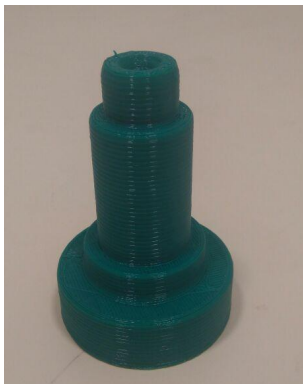


Figura 7 – Prototipo

f. Resultados

Se realizaron cinco mediciones (m_i) de las dimensiones establecidas en la figura 6. En la Tabla 4 se observan los errores relativos (Ec. 1) producidos por las diferencias entre estas dimensiones y las advertidas por los rasgos geométricos obtenidos del modelo 3D (My).

$$E\ (\%) = \frac{\left| \frac{\sum m_i}{i} - My \right|}{\frac{\sum m_i}{i}} \cdot 100 \qquad (1)$$

Tabla 4 – Dimensiones de la pieza relevada.

	Pieza relevada						**Modelo 3D**	**Error relativo (%)**
	m1 (mm)	**m2 (mm)**	**m3 (mm)**	**m4 (mm)**	**m5 (mm)**	$\frac{\sum m_i}{i}$	**M_y**	
Ø$_1$	22,15	22,10	22,10	22,10	22,10	22,11	22,12	0,05
Ø$_2$	30,70	30,65	30,65	30,70	30,65	30,67	30,66	0,03

CONCLUSIONES

Utilizando instrumentos de bajo costo respecto de los escáneres láser que se pueden encontrar en el mercado se ha logrado completar y describir un procedimiento para relevar digitalmente un objeto, estimar el error dimensional producido y obtener una réplica mediante impresión 3D.

De las mediciones realizadas en el objeto relevado y en los rasgos geométricos generados que mejor se adaptan a la malla poligonal del modelo 3D obtenido, se pueden observar errores relativos del orden del 0,05%. Al utilizar un calibre pie de rey como

instrumento de medición no es adecuado medir la longitud total de la pieza, por lo tanto los resultados obtenidos con los diámetros de los cilindros son útiles para tener una aproximación dimensional global de la pieza. Si bien se obtuvieron resultados satisfactorios, estos se encuentran afectados por la incertidumbre del instrumento de medición analógico utilizado. Debido a esto, la línea a seguir en el trabajo es analizar la repetibilidad de los procesos y estimar la incertidumbre de los instrumentos y equipos utilizados, tanto en el relevamiento digital como en el analógico.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar un especial agradecimiento al Dr. Ing. Salvatore Barba de la Universidad de Salerno, Italia, por su constante colaboración con este equipo de trabajo y en este caso específico, por el préstamo de la impresora 3D *Powerwasp Evo.*

BIBLIOGRAFÍA

[1] Sébastien Lachambre, Sébastien Lagarde, Cyril Jover. 2017. Photogrammetry workflow. Recuperado de: https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf [Consulta: noviembre 2020].

[2] Balaguer Puig, Matilde. 2018. Fotogrametría de Objeto Cercano: Conceptos básicos. Recuperado de: https://m.riunet.upv.es [Consulta: mayo 2021].

[3] Sketchfab. 2018. How to set up a successful photogrammetry project. Recuperado de: https://blog.sketchfab.com/how-to-set-up-a-successful-photogrammetry-project/ [Consulta: noviembre 2020].

[4] Agisoft PhotoScan. 2018. User Manual Professional Edition, Version 1.4. Recuperado de: https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf [Consulta: mayo 2021].

[5] Dr. Thomas Luhmann, Dr Stuart Robson, Dr. Sthephen Kyle, Ian Harley. 2011. Close Range Photogrammetry. Principles, techniques and applications. UK: Whittles Publishing. ISBN: 978-184995-057-2.

INTERDEPARTAMENTALES

RESPONSABILIDAD SOCIAL – FACULTAD DE INGENIERIA GENERADOR RESPONSABLE

TENDIENDO REDES EN PANDEMIA

Cecilia Álvarez; Mónica Salvioli; Telmo Palancar; Carole Lombard; Belén Birche; Andrés Delconte; Matías Fernández; José Ignacio Puente; Milagro Arbillaga; Mariano Cabrera; Benjamín Masserano

cecilia.alvarez@ing.unlp.edu.ar ; msalvioli@ing.unlp.edu.ar

Lugar de Ejecución: Facultad de Ingenieria – Cooperativas de Recuperadores Urbanos – Virtualidad.

Palabras claves: cooperativismo; extensión; responsabilidad social; redes, residuos sólidos urbanos

RESUMEN

Este documento pretende reflejar el trabajo realizado por nuestro grupo extensionista en distintos momentos, incluyendo la pandemia, y cómo fue posible en esta última etapa readaptarnos con el objeto de sostener uno de los objetivos propuestos en el proyecto de Extensión ”Responsabilidad Social Universitaria – Facultad de Ingeniería Generador Responsable” presentado y aprobado en la convocatoria 2019 el cual corresponde al fortalecimiento de la capacitación, concientización en temáticas ambientales para la construcción del conocimiento en su vínculo con el ejercicio de la profesión.

Así también, presentaremos cómo fue posible, a partir de los lazos generados entre distintas organizaciones o instituciones de la región, entre ellas Funda Core (Fundación de ayuda al Niño con enfermedades cardiacas), el Taller Protegido Los Tilos (taller de extensión a personas con capacidades diferentes) y la Cooperativa de Trabajadores Cartoneros y Carreros (cooperativa de recuperadores urbanos), sostener esos vínculos y generar otros. Además, cómo fue posible vincularnos con otros proyectos de extensión, lo que nos ha permitido interactuar con distintas áreas del conocimiento.

Destacamos que este proyecto nos sirvió para convencernos de que, con pequeñas acciones, separación en origen en este caso, tendientes al cuidado del ambiente y al compromiso social, es posible fortalecer la formación del futuro profesional, ya que no solo hay que parecer sino ser responsable sobre los distintos saberes que queremos lograr.

INTRODUCCIÓN

Es necesario comprender que la gestión ambiental implica una serie de actividades dirigidas a la aplicación de metodologías y acciones sobre las condiciones socio ambientales del territorio de manera de contribuir al desarrollo integral de una región.

Así también es necesario reconocer que el ingeniero/ingeniera, resulta ser un gestor de estrategias para el desarrollo tecnológico, científico, técnico, a través de la aplicación de métodos tendientes a lograr el Desarrollo Sostenible, donde una pieza clave resulta ser la variable socio ambiental.

Encontramos en la responsabilidad social un instrumento necesario a fin de cumplir los objetivos del desarrollo sostenible, donde cada uno en el lugar que desempeña debe contribuir en su cumplimiento. Por otro lado, en esa responsabilidad social vemos necesaria la visibilización del trabajo cartonero o recuperador urbano, lo cual hemos logrado a partir de la interacción con

distintas cooperativas de la región y la inserción como partícipes activos en nuestro ámbito universitario.

Recordemos que nuestro proyecto surge a partir de ese compromiso, visibilizar la problemática social en la región, el trabajo de las cooperativas de recuperadores urbanos y su rol en el desarrollo y bienestar de la comunidad. Ellos/ellas, los que frente a distintas necesidades veían en nosotros un articulador para mejorar sus condiciones de trabajo, eran y son un instrumento o eslabón necesario para alcanzar un manejo responsable de la fracción reciclable de los residuos generados en nuestra Facultad.

Es así como nos comprometimos a trabajar en pos de fortalecer la concientización en la clasificación en origen de los residuos sólidos urbanos generados por la comunidad de nuestra Facultad a través de la visibilización del trabajo de los recuperadores urbanos y de la interacción con otros proyectos ya establecidos en nuestra Universidad; lo que nos ha permitido enriquecernos en la construcción de un equipo extensionista interclaustro e interdisciplinario.

DESARROLLO

El proyecto hoy aprobado por la convocatoria 2019 de proyectos de extensión de la UNLP, surge desde una actividad de extensión, evoluciona a un proyecto de extensión de la Facultad en el año 2015, y en el 2018 con el compromiso de un grupo de alumnos/alumnas se logra fortalecer las acciones hacia la responsabilidad social universitaria.

Pero esa propuesta presentada en la convocatoria fue necesaria reconvertirla frente a la pandemia, siempre con el mismo compromiso y entusiasmo de pensar en un trabajo conjunto, interdisciplinario para el fortalecimiento de la responsabilidad social, pero en esta oportunidad usando nuevas estrategias, vinculadas a la comunicación virtual.

Aquellas redes que supimos establecer con instituciones u organizaciones locales entre las que destacamos por su permanencia en el proyecto el “Taller Protegido los Tilos” y “Funda Core”, se reconstruyeron frente a otras formas de trabajo. El Taller Protegido los Tilos es una institución donde trabajan personas con capacidades diferentes y en particular trabaja con cartón, realizando tareas de distinta envergadura y resulta ser en el proyecto, el proveedor de los contenedores para aulas u oficinas, en tanto que FundaCore es una fundación para niños con enfermedades cardíacas, donde colaboramos con las campañas de recolección de tapitas, latas o llaves, el material recolectado en estas campañas luego es vendido y con el dinero recaudado se va equipando la sala de cardiología del Hospital de Niños de La Plata.

En estos años transcurridos logramos establecer vínculos con distintas cooperativas de recuperadores urbanos del Gran La Plata y en particular con la Cooperativa de Trabajo Recicladores Unidos Ltda, la cual nace de la necesidad de carreros y cartoneros de La Plata, Ensenada y Berisso de ser visibilizados y reconocidos por su trabajo como recuperadores urbanos en el marco de la Ordenanza 10661 de la Municipalidad de La Plata, así también con otras cooperativas como Unión Cartoneros Platenses, Solplat y San Ponciano, o con cartoneros independientes.

Asimismo, en nuestro desarrollo logramos establecer redes con otros proyectos de extensión, porque consideramos que entre todos es posible obtener los objetivos que deseamos en cuanto al manejo responsable de los residuos. Así logramos vincularnos e incluir en nuestra facultad el proyecto “Solo Yerba” donde se trabaja a través del compostaje sobre una de las fracciones de los residuos que reduce la calidad de la fracción reciclables y así también con el proyecto “Puntos Azules” que nos permite visibilizar el trabajo de los recuperadores urbanos a través del trabajo de las Promotoras Ambientales.

RESULTADOS

Siempre comprometidas/comprometidos con la capacitación, concientización y visibilización de distintas problemáticas ambientales y la obligación que nos demanda la institución universitaria como formadores hacia acciones responsables, se articularon encuestas de relevamiento de saberes con el fin de tener herramientas para la implementación de una gestión responsable de los residuos, dirigida a los distintos estamentos universitarios, ese material representó el aporte necesario para la realización de jornadas de concientización y visibilización destinadas en principio a los trabajadores no docentes, lo que nos permitió además reconocer la problemática sobre los residuos generados en el edificio central.

En ese momento comenzamos a trabajar en pos de establecer un Sistema de Gestión de Residuos donde consideramos fundamental la Responsabilidad Social; producto inicialmente de la falta de credibilidad en el sistema impuesto por el Municipio, comenzamos administrando los mecanismos para que la fracción reciclable sea destinada directamente a las Cooperativas de recuperadores urbanos, así mismo pensamos en involucrarnos con FundaCore y comenzamos a recolectar en distintos edificios tapitas, y para ello encargamos al Taller Protegido Los Tilos la preparación de los contenedores de residuos reciclables y tapitas.

Esos primeros pasos resultaron complicados, frente a las debilidades originadas sobre la fracción reciclable que intentábamos recuperar, tanto por la contaminación orgánica producto principalmente de la yerba, como por la escasa visibilización obtenida del trabajo de los recuperadores urbanos, razón por la cual nos sumamos al proyecto “Solo Yerba” de la Facultad de Agronomía y al proyecto “Puntos Azules”, logrando fortalecer y revertir esas condiciones.

Es así como hoy nos encuentra con una compostera terminada desde principios del 2020, preparada para ser instalada cuando retomemos la presencialidad, la que fue realizada por el trabajo conjunto de los/las integrantes de este proyecto de extensión; además de ello tenemos organizada la logística y señalética necesaria para su comunicación e identificación.

Simultáneamente, realizamos jornadas de concientización con el apoyo y colaboración de los docentes que permitieron en su espacio que las Promotoras Ambientales visibilicen el trabajo de las cooperativas y transmitieran que aquello que descartamos, para otro es trabajo.



Foto 1. Equipo de extensionistas para la construcción de la compostera



Foto 2. Capacitación realizada por Promotoras Ambientales (ex Cartoneras)

Además, en el mes de agosto del 2019 realizamos en forma conjunta con el Movimiento Internacional “Fridays for Future - La Plata” una jornada de tres días que denominamos “Ingenieria

recicla", con el objeto de promover distintas acciones tendientes a la protección del ambiente. https://www.instagram.com/p/B2U2j8lHNTN/

Y llego la pandemia…No nos detuvo, nos transformamos.

La falta de presencialidad vino a fortalecer otras maneras de comunicación, fue así como abrimos el camino hacia las redes sociales, a las reuniones virtuales. La red social Instagram nos permitió organizar a través de vivos, un ciclo de charlas, una charla por mes, donde cada mes representaba un factor o problemática ambiental; fue así que invitamos a distintos especialistas que respondieron los interrogantes generados en el proceso de identificación del tema a desarrollar. La Tabla 1 que se presenta a continuación representa una síntesis de las charlas realizadas para lo cual compartimos los enlaces correspondientes a cada una de ellas, y por supuesto invitamos a recorrer nuestro Instagram @rsuingeniera donde se podrá ver mucho más.

Tema	Integrante de proyecto Invitado		Interrogantes Enlace de Instagram
Mes de la Tierra / Compostaje		Belén Birche Dr.Ing.Agr. Telmo Palancar	¿Sabías que el compostaje es un proceso natural aeróbico (con presencia de oxígeno) por el cual la materia orgánica se descompone? ¿Por qué usamos lombrices californianas? https://www.instagram.com/p/CEculDgnfOS/
Mes del aire / Material Particulado		Belén Birche Tec Met. Juan Augusto Díaz	¿Sabías que el material particulado influye en los fenómenos meteorológicos incrementando la actividad eléctrica y las precipitaciones? ¿Conoces el impacto en la salud que tiene el material particulado? https://www.instagram.com/p/CFahSOkHpPk/
Mes del aire / Contaminación Acústica		Carole Lombard Ing. Gustavo Basso	¿Tiene sentido que las plazas de la ciudad, centros de naturaleza, sean los lugares más transitados ya que por ellas pasan las arterias más importantes? En el contexto actual de pandemia, donde la mayoría estamos todo el día en casa, ¿Los hogares estaban preparados para ello? https://www.instagram.com/p/CFuaPcdJUov/
Mes de los Residuos Especiales /Pilas y baterías		Matías Fernandez Dr.Q Andrés Peluso	¿Las pilas y baterías son reciclables? ¿todas o algunas de ellas? ¿qué puedo hacer con las pilas y baterías que tengo en casa? https://www.instagram.com/p/CGa57ohndSu/
Mes de los Residuos Especiales /Pilas y baterías		Ignacio Puente Cal.Cf Viviana Ambrosi	¿Sabías que existe un lugar en la ciudad de la Plata a donde llevar tus residuos de aparatos eléctricos y electrónicos? ¿Sabías que la gestión de los RAEE ofrece una oportunidad para crear fuentes de trabajo de calidad, seguras para la salud de los trabajadores? https://www.instagram.com/p/CGs7fMenp36/

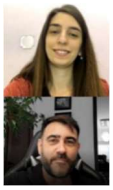
Tema	Integrante de proyecto Invitado		Interrogantes Enlace de Instagram
Mes del Agua / Comunidades vinculadas a los arroyos		Andrés Delconte Dr. Cc Nat Biolg Javier Garcia Desouza	¿Sabías que en la ciudad de la plata los arroyos se revistieron en hormigón? ¿Conoces cómo afecta a la flora y a la fauna? ¿Cómo afectan estas obras de ingeniería en el contacto de la gente con la naturaleza? https://www.instagram.com/p/CHqx6lEHfMx/
Mes del Agua / El agua que consumimos		Belen Birche Ing. Alejandro Sturniolo	¿Que son los contaminantes emergentes? ¿Sabías que el plástico se convierte en partículas diminutas llamadas microplásticos que luego respiramos y bebemos? https://www.instagram.com/p/CH1FIujHyun/

Tabla 1 Entrevistas virtuales en pandemia. 2020

Esta forma de comunicación nos enfrentó a nuevos interrogantes ¿cómo podíamos visibilizar el trabajo cartonero, con la virtualidad?, ¿cómo podíamos salvar la imposibilidad de armar vivos con los cooperativistas? ya que esta modalidad está condicionada a los dispositivos disponibles y a la conectividad. Es así que generamos videos donde los cooperativistas o cartoneros pudieron expresar su labor. https://www.instagram.com/p/CNDeITssimj/ https://www.instagram.com/p/CMQs-HgjG8s/ https://www.instagram.com/p/CMTJ1huD4Ha/

Con el afán de fortalecer la comunicación, entendiendo en ella una herramienta indispensable en todo momento, dos alumnos integrantes del proyecto participaron del curso “Comunicación en Proyectos de extensión” organizado por la Secretaria de Extensión de nuestra Facultad, pudiendo elaborar una página web donde se describe quienes somos y que hacemos. https://rsuingenieriaunlp.wixsite.com/rsuingenieria/actividades

Otras acciones que se lograron desarrollar fue responder a necesidades de las organizaciones o cooperativas, es así como bajo el formato de trabajo final se realizaron los diseños de una compactadora para FundaCore y una trituradora de papel para la Cooperativa de Trabajo Recicladores Unidos Ltda.

Por último, siempre con el compromiso de fortalecer nuestro proyecto hemos participado en distintas jornadas de extensión nacional, como fue la última realizada en el 2019 en la provincia de Jujuy, así durante ese año participamos de las jornadas de extensión Universitaria de la UNLP y en tiempos de pandemia hemos participado en forma virtual de las Jornada para la Acción Alimentaria de los niños, donde hablamos de la economía circular y los objetivos para el desarrollo sostenible.

CONCLUSIONES

El trabajo en redes y colaborativo que se ha logrado establecer en el equipo extensionista y las organizaciones involucradas en el proyecto ha permitido y seguirá permitiendo responder a las necesidades de la comunidad.

Entendemos que se deben fortalecer estas acciones, y que la formación del ingeniero debe responder, además de su formación técnica curricular, a una formación donde se fundamente la

responsabilidad social, el compromiso ciudadano y la preservación del ambiente y si bien estos temas son tratados curricularmente, pierden validez frente a las situaciones particulares presenten en las instituciones. Por lo cual, estamos convencidos que, con la implementación de estas acciones primarias, separación en origen, tendientes al cuidado del ambiente y al compromiso social, se fortalece la formación del futuro profesional, ya que no solo hay que parecer sino ser responsable de los distintos saberes que queremos lograr.



Foto 3 - Equipo extensionista

REFERENCIAS

Álvarez C., Salvioli M., Lombard C., Puente J.I., Delconte A. y B. Masserano (2019*). Responsabilidad Social – Tendiendo redes*. 12°Jornada Nacionales de Extensión Universitaria, Jujuy. Argentina.

García, O. (2011). *La extensión universitaria y su impacto curricular*. IV Congreso de Extensión Universitaria, UNCuyo.

Ministerio de Salud y Ambiente Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2005). *Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos ENGIRSU*.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2018). *Perspectiva regional de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe*. ISBN No 978-92-807-3715-8

Rampoldi Aguilar r., Burmester M. y L. Zulaica (2009). *La extensión, el compromiso social universitario y la aplicación de la pedagogía basada en el aprendizaje-servicio*. III Congreso de Extensión Universitaria, UNL.

Schön, D. (1992). *El profesional reflexivo. Cómo piensan los profesionales cuando actúan*. Barcelona: Paidós

Tünnermann Bernheim C. (2000). *El nuevo concepto de la extensión universitaria*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Vallaeys F. (2006). *Breve marco teórico de la responsabilidad social universitaria*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

https://www.argentina.gob.ar/ambiente/accion/economia-circular

FESTIVAL DE MATEMÁTICA EN LA FI DE UNLP: ACTIVIDAD DE EXTENSIÓN CON LA ESCUELA SECUNDARIA

Di Domenicantonio, Rossana; Ekkert, Tatiana; Langoni, Laura; Lubomirsky, Noemí y Sánchez, María D.

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
Calle 1 y 47 - La Plata (B1900TAG)
tatiana.ekkert@ing.unlp.edu.ar

Resumen. El presente trabajo relata la experiencia de un "Festival de Matemática" enmarcado en un Proyecto de extensión que articula la Matemática entre la escuela secundaria y la universidad. La actividad se desarrolló en la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) en agosto de 2019. La realización del evento estuvo a cargo de docentes de materias de Matemática y de años superiores de la FI y participaron alumnos del ciclo superior de distintas escuelas, así como estudiantes de materias del primer año de las carreras de Ingeniería. El festival se desarrolló a través de stands temáticos donde, por medio de juegos y desafíos, se proponía que los visitantes pensaran situaciones matemáticas relacionadas con temas estudiados en la escuela y mostrando aplicaciones a distintas áreas de la Ingeniería.

Palabras Clave: extensión, articulación, matemática, festival, aplicaciones.

INTRODUCCIÓN

El Festival de Matemática se originó, organizó y desarrolló en la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de La Plata en el marco del proyecto de extensión "Matemática FI se extiende a la secundaria". Fue creado con el objetivo de acercar a los alumnos de los últimos años del colegio secundario a la dinámica de trabajo utilizada en las materias de matemática de la FI, invitando y motivando a los alumnos a reflexionar y cuestionarse situaciones y conceptos matemáticos que alguna vez estudiaron, a través de juegos y desafíos en equipo.

El objetivo principal de la propuesta fue articular la escuela secundaria y la Universidad a través de un festival de Matemática que involucre tanto a docentes como a alumnos de ambos ámbitos educativos y donde la matemática sea abordada de una manera lúdica. Entre los objetivos más específicos de la propuesta podemos destacar:

- Difundir la forma de trabajo en las aulas de Matemática de la FI donde se trabaja con modalidad de aula-taller, en la cual el alumno es el actor principal en su aprendizaje (Ander-Egg, E.,1991).
- Promover la visión de que la Matemática es accesible a través del juego.
- Incentivar el estudio de manera colaborativa en la discusión de ideas.
- Estrechar vínculos entre las instituciones y los docentes de los dos niveles educativos.

En esta oportunidad fueron especialmente invitados al Festival aquellos colegios vinculados con el proyecto de extensión, aunque la invitación luego fue extendida a todos los colegios de la región. El encuentro se realizó el viernes 23 de agosto de 2019 en el predio de la Facultad y al mismo asistieron un gran número de alumnos, docentes y directivos de los colegios invitados. También se contó con la participación de alumnos de otras escuelas que se encontraban cursando Matemática PI en su modalidad anticipada y alumnos de otras materias de los primeros años.

La jornada devino en un intenso intercambio entre alumnos y docentes, donde no solo se logró despertar la curiosidad y el entusiasmo de los jóvenes por la matemática, sino que también se pudo mostrar a través de aplicaciones concretas su rol fundamental en las distintas ramas de la ingeniería.

Fundamentación

La articulación en matemática con la escuela secundaria es un tema de interés de la cátedra Matemática para Ingeniería. Es por ello que se impulsan desde la misma diferentes estrategias con el fin de fomentar la vinculación, siendo el Festival una de ellas. De acuerdo con Luchetti "La articulación es una estrategia para favorecer la continuidad de los aprendizajes, la gradualidad del proceso y el pasaje feliz, mórbido, fluido, seguro y no traumático interniveles" (Luchetti, 2005, pp.12). La articulación se "refiere a la unión o enlace entre partes. Esto supone reconocer que las partes son distintas entre sí y a la vez forman parte de un todo" (Dirección de Currícula, 2000, pp.34).

Con el fin de incentivar las actividades que se vinieron desarrollando entre la cátedra Matemática PI y algunas escuelas de la región, se creó el proyecto de extensión para articular la enseñanza de la Matemática del nivel medio con la del nivel universitario incorporando estrategias didácticas y metodológicas en el ciclo superior de la enseñanza media. Como parte del mismo se difunde material especialmente elaborado por la cátedra de Matemática para Ingeniería y se elaboran nuevas actividades en conjunto con docentes del nivel medio para su utilización en los cursos correspondientes. Para llevar esto a cabo se realizan reuniones con los directivos y docentes de Matemática de los colegios, con el fin de intercambiar ideas, propuestas y actividades que puedan realizarse, además de compartir la metodología de aula-taller y la manera de trabajo y participación de los alumnos. En concordancia con De Moreno "la articulación implica no solo vínculos y conexiones entre los contenidos, sino también entre las concepciones de enseñanza y de aprendizaje; con la idea de sujeto que le subyace y con acuerdos acerca de qué significa saber" (De Moreno, 2015, pp.6). En este contexto, una de las estrategias previstas para articular el nivel medio con el universitario y acercar el trabajo de los docentes de Matemática de la escuela media con los docentes universitarios del primer ciclo de las carreras de ingeniería, fue la del Festival de Matemática. Es así que se organiza el Festival compuesto por numerosos stands lúdicos con la idea de que es más divertido aprender jugando. En relación con este tipo de aprendizaje, Fernández Carrasco dice que "no solo se conduce al aprendizaje, sino también a perder el miedo a las matemáticas y descubrir por sí mismo la importancia que éstas tienen en la vida cotidiana, encontrando nuevas aplicaciones en las que puede implementar los conocimientos y habilidades adquiridos" (Fernández Carrasco, 2018, pp. 57). Góngora Vega y Cú Balán afirman que mediante el juego "podemos hacer que nuestros alumnos se transformen en personas creativas, ya que, si establecemos bien las reglas, durante éste, haremos que se enfrenten a situaciones que deban resolver utilizando sus propias estrategias, tomando sus propias decisiones" (Góngora Vega y Cú Balán, 2009, pp. 3).

Se tiene conocimiento de eventos similares previos en Tucumán (Facet informa, 2018), en Chile como ser en Chiloé (2018), Valparaíso (2016) y Vicuña (2017) (Sociedad Matemática de Chile, s.f.). En la Reunión Anual de la Unión Matemática Argentina se han realizado eventos similares desde 2008 (http://www.union-matematica.org.ar/v2/reuniones-anuales/).

DESARROLLO

El Festival estuvo coordinado por profesores, auxiliares y alumnos integrantes del proyecto de extensión. Se organizó en formato de stands que proponían diversas temáticas ya estudiadas en la escuela, pero a través de un enfoque lúdico. Se buscó que conceptos que suelen generar cierto grado de dificultad para ser comprendidos fueran abordados a través de juegos que promovieran simples deducciones y razonamientos despertando, de esta manera, el interés y entusiasmo en los estudiantes.

Organización de la jornada

A la jornada fueron invitados más de quince colegios secundarios, tanto públicos como privados (incluyendo colegios técnicos y dependientes de la Universidad). El recorrido estuvo organizado en turnos que fueron asignados previamente a cada una de las escuelas invitadas. De esta manera se logró recibir y asistir de manera ordenada a los alumnos. Se buscó que los visitantes aprovechen su paso por todos los stands, sin desbordes y con la posibilidad de que todos los grupos puedan participar activamente en las actividades desarrolladas. Si bien solamente siete escuelas confirmaron asistencia, se estima que asistieron más de 800 estudiantes durante toda la jornada.

En el Festival participaron un total de 30 docentes, organizados por turnos y funciones. Algunos integrantes del equipo docente estuvieron presentes en los stands, otros se encargaron de la logística de recibir a los alumnos visitantes, dividirlos en grupos y asignarles un orden de recorrido. De esta forma coordinaban la rotación, asegurándose de que todos puedan participar de las distintas propuestas.

Descripción de los stands

El festival estuvo compuesto por diez stands, uno vinculado a la vida universitaria, cinco de ellos relacionados con temas específicos de matemática y cuatro de aplicaciones de la misma en la Ingeniería (Figura 1). Todos los stands estuvieron a cargo de docentes de Matemática Pi. Los cuatro que estaban aplicados a la Ingeniería, tenían la particularidad que sus docentes se desempeñaban en otras materias o trabajaban en alguno de los Laboratorios de la Facultad. Esto último permitió dar el abordaje correcto a la aplicación según la especialidad de la ingeniería que se trataba en el stand. En algunos de los stands hubo desafíos grupales donde el equipo ganador recibía un premio con temáticas matemáticas o de la FI.



Figura 1: Imágenes del Festival

A continuación, se presenta un breve resumen de los stands:

Vida Universitaria: en este stand se propuso una actividad lúdica sobre la vida universitaria y datos generales de la Facultad, donde se dividió al grupo visitante en dos equipos que compitieron. Los participantes eligieron tarjetas donde aparecían afirmaciones que ellos debían juzgar si eran verdaderas o falsas.

Conjuntos numéricos: aquí se repasaban los conjuntos numéricos y las operaciones. En el mismo había seis dados. Uno de ellos contenía conjuntos numéricos y los demás tenían números y símbolos de operaciones en sus caras. Una vez que se tiraba el dado del conjunto numérico, se tiraban los demás y cada equipo debía armar, en un tiempo predeterminado, todos los números posibles que surgieran con los números y operaciones que les tocaron, procurando que el resultado estuviera contenido en el conjunto sorteado.

Área y Volumen: en este stand se mostraba cómo se podía razonar geométricamente a partir de figuras sencillas para deducir las ecuaciones de la superficie y el volumen de otras más complejas. El desafío final era ver si podían hallar la ecuación del volumen de una pirámide de base cuadrada. Cuando no lo podían deducir se los invitaba a trabajar con seis pirámides juntas y ver que se podía formar un cubo con ellas, uniendo sus vértices en el centro. Normalmente deducían la ecuación del volumen con esta deducción geométrica.

Cuadrado y cubo del binomio: en el mismo se trabajó con la deducción geométrica de las ecuaciones del cuadrado y cubo del binomio. Para hacerlo, se comenzaba preguntando si era cierta la igualdad $(a+b)^2 = a^2 + b^2$ y se mostraba geométricamente que la igualdad no era cierta. Agregando en el análisis geométrico dos rectángulos de lados a y b, se deducía geométricamente la fórmula correcta del cuadrado del binomio. Luego se preguntaba qué pasaba con el cubo del binomio y se les permitía trabajar con algunos cuerpos geométricos para que pudieran deducir la expresión adecuada de forma análoga.

Teorema de Pitágoras: en este stand proponía que los alumnos llegaran a realizar una demostración geométrica del Teorema de Pitágoras, brindándoles algunos segmentos para que unieran y formaran las figuras adecuadas para probarlo. Se disponía, además, de un modelo listo para poder dar la explicación, que se puede representar mediante las figuras que se pueden ver en la Figura 2.



Figura 2: Teorema de Pitágoras

Radianes: se propuso una introducción al sistema radial, dando la definición de la unidad radián y la longitud de arco. Además, se contaba con un sistema de circunferencias el cual al girarlo permitía ver un arco coloreado hasta alcanzar una medida igual al radio Luego se observaba que entra un poco más de 3 veces en el arco, comentando que esa cantidad se correspondía con el número irracional π. Con esto se deducía, además, la fórmula para calcular el perímetro de una circunferencia.

Trivia de Ingeniería en Materiales: estuvo conformado por docentes y estudiantes de la carrera de Ingeniería en Materiales. La propuesta se trató de una trivia de películas y series que se presentó en formato de tarjetas con imágenes donde a través de algunas preguntas se debía relacionar el suceso de la escena con propiedades y comportamientos que tienen los materiales frente a determinadas circunstancias o condiciones. Los participantes debían prestar especial atención a las magnitudes y signos de los números que se presentaban.

Ingeniería en Agrimensura: en este stand algunos docentes y estudiantes de Ingeniería en Agrimensura mostraron aplicaciones de la Matemática a su carrera haciendo participar de manera activa a los visitantes. Los alumnos hicieron mediciones con una estación total, pudiendo calcular la distancia a determinado punto propuesto, relacionarla con la altura, ángulos y relaciones trigonométricas.

Club de Robótica: el objetivo era relacionar algunos temas dictados en Matemática PI con los proyectos realizados en el club, por ejemplo, el péndulo invertido, ángulos y relaciones trigonométricas con el robot que hace equilibrio. Se contó que el club de robótica tiene la particularidad de ser un espacio donde realizar proyectos, adquirir nuevos conocimientos y relacionarse con pares que tienen el mismo interés en aprender.

Ingeniería Hidráulica: en este stand se presentaron aplicaciones de la Matemática a la Ingeniería Hidráulica, mostrando y analizando con los alumnos qué parámetros incidían más o menos en determinado fenómeno hidráulico. Los estudiantes debían decidir, mirando la fórmula que modelizaba el comportamiento que estaban visualizando, la incidencia de las variables según el rol o el peso en la fórmula propuesta.

Es importante destacar que fue necesario idear un espacio adicional, dado que algunas escuelas decidieron participar del Festival con grupos muy numerosos y, previendo que tal vez iba a ser difícil que todos participaran simultáneamente de los stands, algunos docentes de Matemática PI implementaron una propuesta de resguardo. Para este fin, se reservó un aula y se confeccionaron diapositivas con curiosidades matemáticas. Por ejemplo, cómo se pasa un número periódico a una fracción con un procedimiento deductivo.

CONCLUSIONES

En el marco del proyecto de extensión “Matemática FI se extiende a la secundaria” se implementó el Festival como una estrategia de articulación entre la escuela media y la universidad. Se considera que este Festival aportó una nueva forma de ampliar el vínculo entre ambos niveles educativos. Además, esta actividad promueve el acercamiento de jóvenes interesados en realizar o visualizar aplicaciones de matemática en fenómenos de ingeniería como una estrategia de motivación y articulación entre docentes y alumnos de ambos niveles.

Es importante difundir que la matemática no es algo inalcanzable ni inentendible, es una manera de “democratizar o de difundir” su estudio y de minimizar el rechazo en algunos casos de los alumnos. Se espera, además, que los alumnos no decidan su estudio universitario pensando en elegir carreras que no tengan matemática, sino que vean la matemática como una herramienta susceptible de entender, estudiar y apropiarse de manera de ser utilizada por ejemplo en carreras científico-tecnológicas como lo son las Ingenierías.

Es valioso destacar que durante el Festival los alumnos asistentes no fueran meros espectadores de fenómenos o curiosidades matemáticas, sino que fueran parte activa y pensante de desafíos acordes al nivel educativo que fue convocado. Esto hizo que todos participaran de las propuestas presentadas y pudieran experimentar, argumentar y conocer la manera en que se trabaja en las clases de matemática desde el inicio de las carreras de Ingeniería.

También hubo repercusiones en medios locales y nacionales como, por ejemplo, el diario EL DÍA, el canal de la UNLP, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Educación, TELAM y el canal nacional América TV.

Debido al gran interés manifestado por parte de los asistentes se había diseñado una nueva versión del Festival para el año 2020 donde se pudiera invitar a mayor cantidad de colegios. Sin embargo, la misma debió posponerse por la situación sanitaria de Covid-19. Durante el año 2020 se realizaron encuentros virtuales con algunos colegios participantes, implementando alguna actividad matemática mediante una situación problemática. En el año 2021 se continúa con dichos encuentros mientras se está planificando una nueva edición de este Festival con novedosas propuestas para el momento en que la situación epidemiológica lo permita.

Bibliografía

Alumnos y docentes participaron de un festival de Matemática. (23 de agosto, 2019). Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires. Recuperado el 19 de febrero de 2020 de http://abc.gov.ar/alumnos-y-docentes-participaron-de-un-festival-de-matematica

Ander-Egg, E. (1991). El taller. Una alternativa de renovación pedagógica. Editorial Magisterio del Río de La Plata. Buenos Aires, Argentina.

De Moreno, B. (2015). Articulación: algunas reflexiones en el contexto de la formación docente. Programa Nacional de Formación Permanente de la Pcia. de Buenos Aires.

Dirección de Currícula, Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, (2000). Diseño Curricular para la Educación Inicial. ISBN 987-9327-61-6.

En la facultad de Ingeniería de la UNLP se desarrolló el primer festival de matemáticas. (23 de agosto, 2019). Diario El Día. Recuperado el 19 de febrero de 2020 de https://www.eldia.com/nota/2019-8-23-23-35-0-en-la-facultad-de-ingenieria-de-la-unlp-se-desarrollo-el-primer-festival-de-matematicas-la-ciudad

Fernández Carrasco, M. del Carmen (2018). “Recursos educativos abiertos: jugando y aprendiendo matemática”, Entre textos, Año 10, número 30, pp. 55-67.

Góngora Vega, L. C. y Cú Balán G. (2009). “Aprender Matemáticas, jugando con números y signos”, Quaderns digitals: Revista de Nuevas Tecnologías y Sociedad, ISSN-e 1575-9393, Nº 59, pp.1-17.

La Facultad de Ingeniería platense realizará festival de matemáticas para alumnos secundarios. (20 de agosto, 2019). Cablera Télam. Recuperado el 19 de febrero de 2020 de https://cablera.telam.com.ar/cable/818875/la-facultad-de-ingenieria-platense-realizara-festival-de-matematicas-para-alumnos-secundarios

Laje, A. (presentador). (23 de agosto, 2019). Buenos Días, América [programa de TV]. Grupo América (empresa productora). Buenos Días, América. Buenos Aires, Argentina: Canal América.

Luchetti, E. (2005). Articulación. Un pasaje exitoso entre distintos niveles de enseñanza. Editorial Bonum, CABA. Argentina.

Noticias UNLP - Festival de Matemáticas en la UNLP. (23 de agosto de 2019). TV Universidad. Recuperado el 19 de febrero de 2020 de https://www.youtube.com/watch?v=WwmEloSwmAs

TRANSFORMAR EL CONTENIDO
HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

Cecilia Álvarez; Isver Parodi; Yanina Hollman; Franco Ansaloni; Iliana Eccli;
Andres Delconte; Pablo Lagoria;
120 alumnos 1er semestre 2020
cecilia.alvarez@ing.unlp.edu.ar

Lugar de Ejecución: Aulas Virtuales Facultad de Ingeniería

Temática: Mutación de la tarea docente

Palabras claves: aprendizaje, creatividad, contención

RESUMEN

Este documente pretende visibilizar una propuesta de trabajo práctico realizado por las/los estudiantes del 1er Semestre de 2020 en la asignatura “Higiene y Seguridad en el Trabajo”, los cuales hubiesen sido expuestos o visibilizados en los espacios comunes del Departamento de Mecánica, pensando que volvíamos a la presencialidad en el 2do Semestre, como esto no fue posible consideramos oportuna su difusión a través de estas jornadas.

Exponer a la universidad pública a una formación e-learning, nos expuso a numerosas debilidades institucionales, que supimos entre todos sobrellevar tanto estudiantes como docentes. Es así como supimos readaptarnos con el compromiso de acompañar al alumno/alumna, donde nos encontramos en principio en un aparente estado de soledad, para luego encontrar el acompañamiento de otros cuerpos docentes.

¿Como podíamos motivar al estudiante, a repensar algunos temas? Consideramos que era necesario e interesante generar algún proceso creativo. Entendiendo que existen otras formas de comunicación las que resultaban invisibles en la educación tradicional, como son las redes sociales, por lo que propusimos un trabajo donde era necesario utilizar el formato de comunicación a través de la red social Instagram, en el cual las/los estudiantes se ven particularmente familiarizados.

Partiendo de la red social elegida y teniendo presente que para captar la atención del usuario debe ver atraído por un condicionante que es la imagen o primera impresión, para su posterior lectura. Las/los estudiante interpretaron claramente la consigna, logrando la empatía sobre el tema a analizar, el cual resultaba ser Accesibilidad obteniendo interesantes entregas en las cuales se observa la aplicación de distintas formas de comunicación, diseños de spot animados, de videos, audios, reflexiones y placas de powerpoint.

Ante el desafío que nos encontrábamos a inicio del 2020 consideramos necesarios repensar los contenidos de manera de romper algún esquema clásico de la presencialidad, seguramente con muchos errores, pero con el compromiso de acompañar a la alumna, el alumno en el camino hacia la responsabilidad en materia de las condiciones y medio ambiente de trabajo.

INTRODUCCIÓN

¿Quién estaba preparada/preparado para generar un espacio de formación académica e-learning? donde el docente y los estudiantes se encuentran físicamente separados por espacio y tiempo. Pudiendo existir o no una comunicación sincrónica, donde se entiende que la comunicación sincrónica se da en la coincidencia en tiempo, pero no en espacio, y asincrónica donde no existen coincidencia de los individuos frente a las variables.

Sin lugar a duda la pregunta anterior nos lleva a distintas respuestas propias del individuo, docente u estudiante, pero todas bajo un mismo condicionante el exponer a la universidad pública a una formación e-learning, donde los docentes debíamos adaptarnos rápidamente y los alumnos entender otras formas de estudio. Donde los espacios universitarios, bibliotecas, espacios de estudios habían sido perdidos, y sus hogares transformados en espacios solitarios de encuentro del saber.

Pero como es obvio para esta metodología propia de algunas universidades digitales, debería requerir de conectividad y de dispositivos, lo que sin lugar dudas nos expuso otra debilidad o conflicto, muy difícil de comprender en algunos eslabones universitarios.

Así también que los métodos y herramientas de enseñanza se vieron visiblemente alterados, exponiéndonos como docentes a repensar las estrategias de comunicación y aprendizajes, a fin de cumplir con los objetivos curriculares propuestos en la asignatura, quedando pendiente otras problemáticas aparejadas con esta nueva metodología de formación.

DESARROLLO

Nuestra asignatura “Higiene y Seguridad en el trabajo”, realiza en muchos casos la estrategia del Aprendizaje Basado en Problemas, proponiendo al alumno, la alumna el reconocer alguna situación problemática a través de la observación critica de lo que nos rodea, reconocer luego el marco legal que respalda esa situación para su mitigación o control y así dar solución a esa situación problemática. Sin embargo, eso que lo realizábamos habitualmente en el aula lo tuvimos que repensar proponiendo otros mecanismos de resolución, tal vez mas cercanos a la forma de comunicarse de la alumna o el alumno.

Es así como, sosteniendo el análisis cognitivo de la tarea, utilizando el estudio de la cognición a través de los contextos de la vida real, para repensar la responsabilidad del ejercicio de la profesión, donde se trata de comprender y cuestionar como el individuo puede capturar o cuestionar el conocimiento, a través de un interrogante. Fue lo que con una propuesta de trabajo practico intentamos construir, de manera sencilla, que genere reflexión o algún tipo de cuestionamiento, con el objeto de inducir la responsabilidad, tratando de comprender cómo la ciudadana, el ciudadano aplica el conocimiento, con las nuevas herramientas y capturar el modo en que trabaja la mente para revertir alguna situación problemática.

Comprendiendo que existen otras formas de comunicación las cuales resultaban invisibles en la educación como es el uso de las redes sociales, donde se transforman la forma de lectura, escritura e imagen tradicionales, se propuso que frente a una consigna determinada se realice un mensaje o producción audio visual para ser publicada en la red social Instagram por lo cual debería ser breve, pero con un mensaje claro. La propuesta consistió en la siguiente:

> “Realizar una detenida lectura de la Ley 22431 – Ley 24314 – Decreto 914/97.
>
> Tomar un párrafo o artículo de ese material.
>
> Realizar una placa o video (30 segundos) con formato para ser publicado (de manera supuesta) en las redes sociales.

La placa o video deberá tener un mensaje, que responda a ese artículo y sobre los cuales ustedes realizarán una reflexión.

El objetivo es que con el mensaje que transmitimos concientizar a otros/otras, sobre el tema de referencia y dar a conocer el marco legal y la responsabilidad que nos cabe a nosotros como profesionales de la ingeniería o sencillamente como ciudadanos"

Esta propuesta, que hace referencia a las leyes de accesibilidad, las cuales existen desde la década del ochenta, fue acompañada con modelos o ejemplos de lo que se buscaba obtener. Pero sin lugar a duda los resultados fueron increíbles, y no existió posibilidad de externalizar estos trabajos, como fue pensado originalmente.

Es así como esta presentación no tiene el objeto mostrar los cambios en el aprendizaje o las nuevas metodologías de enseñanza o evaluación que nos expuso la virtualidad, sino que pretende dar a conocer los trabajos realizados y generar en el lector los mismos interrogantes.

RESULTADOS

Una parte del desarrollo de nuestra asignatura se fundamenta en un simple concepto como es la responsabilidad, la responsabilidad que cabe al ejercicio de la profesión, al ejercicio del ser ciudadano, y a reflexionar a través del marco legal regulatorio del área del conocimiento de higiene y seguridad en el trabajo sobre su cumplimiento, cuestionando actitudes profesionales y entendiendo que es un deber ciudadano respetar las normas escritas.

Partiendo que la red social elegida la que posee algunos limitantes de formato, y que se debe pensar en captar la atención del usuario, para su posterior lectura, cada uno de los trabajos presentados resultan significantes ante estas características ya que visibilizan una situación y la contrastan con el marco legal, utilizando distintas formas de comunicación, diseños de spot animados, videos, audios, reflexiones, placas de powerpoint.





Figura 1 – Algunos Spot de difusión (Brianese . Brizuela)

..\TPN°5 Accesibilidad\TPN°5_Spot_Agustin Brianese_.mp4
..\TPN°5 Accesibilidad\TPNº5 - BRIZUELA.mp4

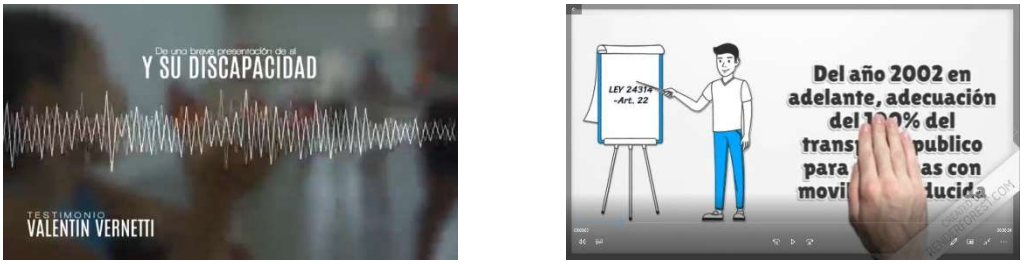


Figura 2 - Otras formas de presentación (J. Arias – G. Arias)

..\TPN°5 Accesibilidad\TPN°5_Juan Arias.mp4
..\TPN°5 Accesibilidad\TP5_ARIAS G.mp4



Figura 3 - Reflexiones realizadas por alumnos (Grisolia . Verde)*.

- Sus rostros fueron desdibujado para esta presentación

..\TPN°5 Accesibilidad\TPn°5_Grisolia.mov
..\TPN°5 Accesibilidad\TPN°5_Verde.mp4



Figura 4 – Placa y presentación realizada por estudiantes 1S20 (Manrique – Freccero)

..\TPN°5 Accesibilidad\TP Nº 5_Martinez.pdf

..\TPN°5 Accesibilidad\TPN°5_Freccero.pptx





Figura 5 – Placas realizadas por estudiantes (Goncalves - Rivas)

..\TPN°5 Accesibilidad\TPN°5Goncalves.jpg

..\TPN°5 Accesibilidad\TPN°5_Rivas.jpg

Cada estudiante pudo demostrar su compromiso y empatía en el tema propuesto, cada alumna/alumno, encontró un tema a abordar a fin de visibilizarlo, muchos sin lugar a dudas relacionadas a la movilidad, pero podemos encontrar otras aspecto que requieren una reflexión social, si bien podríamos decir que el mismo formaba parte de un proceso de entrega y cumplimiento de las consignas, consideramos que muchas y muchos de ellos generaron una mirada ante la realidad y ante el compromiso social lo cual resulta muy alentador.

Las figuras anteriores son solo una muestra de las producciones realizadas, se adjunta link de carpeta drive, a fin de que puedan registrar la totalidad de los trabajos presentados por las/los estudiantes.

https://drive.google.com/drive/folders/1BhJrc1r5BpdFDMZBaWY6cqkMPERVs0i?usp=sharing

Con el afán de generar propuestas atractivas y que rompa cierta monotonía la que originaba el aislamiento propusimos otros trabajos donde el/la alumna pudieron demostrar a través de una pieza musical, una película el análisis de un accidente, el objetivo de utiliza esos elementos era reconocer en el estudio de un accidente las maneras de determinar subjetividades, juicios de valor o hechos reales resultando este último el instrumento necesario para el análisis de accidentes.

Así también a través de la teoría de gestión de Salud y Seguridad en el Trabajo analizamos los procesos de evolución de los DNU en estos tiempos, partiendo de la Resol135/20. Con respecto a este último punto lo consideramos sumamente importante para comprender que en todo proceso de gestión implica revisiones permanentes y en estos momentos donde nos enfrentábamos a algo desconocido aún más, por lo que implica e implicaba un proceso de aprendizaje permanente o revisión continua.

CONCLUSIONES

La virtualidad nos expuso a debilidades propias, de las/los estudiantes y también de la institución.

Ante el desafío que nos encontrábamos a inicio del 2020 consideramos necesarios repensar los contenidos de manera de romper algún esquema clásico de la presencialidad, seguramente con muchos errores, pero con el compromiso de acompañar a la alumna, el alumno en el camino hacia la responsabilidad en materia de las condiciones y medio ambiente de trabajo, visibilizando su compromiso en el cuidado individual, así también como la visibilización de la responsabilidad del futuro profesional tanto hacia el cliente o comitente, como hacia los trabajadores asociados a las distintas etapas de vida útil del emprendimiento.

Consideramos necesario que este sencillo trabajo realizado por los alumnos sea expuesto a la comunidad de nuestra institución y no quede en la intimidad del curso. El resultado obtenido nos hace pensar como somos capaces permanentemente de desafiar todo lo reglamentado, ¿necesitamos permanente que nos controlen?, ¿que nos sancionen? ¿por qué no respetamos los códigos las normas establecidas? Estos mismos interrogantes surgen en estos tiempos de pandemia donde observamos que con cuidados mínimos es posible minimizar las posibilidades de contagios y permanente ciertos ciudadanos desafían estas reglas.

Pero a pesar de todos los cuestionamientos posibles debemos tener presentes las palabras de Teresa de Calcuta “A veces sentimos que lo que hacemos es tan solo una gota en el mar, pero el mar sería menos si le faltará una gota”

REFERENCIAS

Libedinsky, M. (2015). *Cómo enseñar para la transferencia en las aulas en línea de nivel superior*. IX Conferencia Internacional GUIDE. Educación y sociedad en red. Los desafíos de la era digital.

Salvatierra, Fernando y Di Lascio, María Gabriela (2013). “*Entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje*”, en Escenarios educativos con tecnología. 1° ed. Dentro del Programa Virtual de Formación Docente del Centro de Innovación en Tecnología y Pedagogía (Citep) de la Secretaría de Asuntos Académicos del Rectorado de la Universidad de Buenos Aires.

Cesar Coll. (2008) *Aprender y enseñar con las TIC: expectativas, realidad y potencialidades*

Lic. Susana Cellman*. Sujetos y objetos en la evaluación Universitaria*

Norma I. Scagnoli (2005) *Estrategias para Motivar el Aprendizaje Colaborativo en Cursos a Distancia*. College of Education University of Illinois at Urbana-Champaign, US

María del Carmen Malbrán (2008) Proyecto *“Indagaciones en la mente del experto”* Programa de Incentivos. UNLP. H462

María del Carmen Malbrán Viviana Raquel Pérez (2002). “Lectura en medios electrónicos” 5° Congreso Internacional de Promoción de la Lectura y el Libro. 28° Feria Internacional del Libro de Buenos Aires. Abril de 2002

Burbules Nicolas. Libro Digital. *“Capítulo III Hipertexto: El conocimiento en la encrucijada”*

Joseph D. Novak & Alberto J. Cañas (2004) “Construyendo sobre Nuevas Ideas Constructivistas y la Herramienta CmapTools para Crear un Nuevo Modelo Educativo” Institute for Human and Machine Cognition

Crandall, B., Klein,G. & Hoffman, R (2006) “Análisis cognitivo de la tarea”. Working Minds. A Practitioner`s Guide to Cognitive Task Analysis. The MIT Press,

“*El Aprendizaje Basado en Problemas como técnica didáctica*”. Las estrategias y técnicas didácticas en el rediseño. Dirección de Investigación y Desarrollo Educativo, Vicerrectoría Académica, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

LAS PRÁCTICAS PROFESIONALES EN EL CURRÍCULUM UNIVERSITARIO: PRESENTACIÓN DE UNA INVESTIGACIÓN EN SU ETAPA INAUGURAL

Abate, Stella M. y Lyons, Silvina

Área Pedagógica- 1 y 47 - smabate@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: prácticas profesionales, curriculum, “buen hacer”, institución, ingeniería.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo presentamos una investigación denominada “Las prácticas profesionales en el curriculum universitario: compromiso con el *buen hacer*”. La misma se enmarca en el Programa de Incentivos, corresponde al periodo 2020-2023 y propone profundizar en el estudio del estándar de acreditación vinculado a las prácticas profesionales en carreras de ingeniería. Para ello, pretende colaborar en sistematizar y difundir, según las voces de graduados, estudiantes y docentes, escenarios formativos potentes que promuevan la formación práctica o que aborden reflexivamente el compromiso con el “buen hacer” profesional. La intención es dar visibilidad curricular a estos recorridos formativos teniendo en cuenta, entre otras cuestiones: los escenarios formativos que se despliegan, las subjetividades y los criterios profesionales que promueven según las visiones respecto a cómo se concibe al/la profesional ingeniero/a y su vínculo con procesos sociales contemporáneos significativos.

Específicamente en estas jornadas, compartiremos tres cuestiones inaugurales del desarrollo de la investigación: algunas cuestiones conceptuales de partida, dos interrogantes (macro) orientadores del proceso de investigación y una aproximación empírica sobre la experiencia de estudiantes avanzados y egresados en el tema objeto de estudio.

1. Cuestiones conceptuales

La experiencia en distintos espacios de intervención curricular en la universidad, en particular en el marco de carreras profesionalistas, siempre va acompañada de preguntas respecto a cómo se forma para el hacer profesional y cómo impactan en esta formación los cambios en los contextos de inserción laboral de los y las profesionales. Estas preguntas dirigen la mirada hacia el tratamiento curricular de las prácticas profesionales y los saberes prácticos, inscribiéndose en un debate más amplio sobre los significados actuales de la categoría de excelencia académica y la enseñanza universitaria como derecho. Ello en un escenario de futuro incierto en cuanto a demandas profesionales específicas.

Las “prácticas” son instancias curriculares complejas que resultan del producto de determinaciones sociales e institucionales que van configurando formas compartidas de interpretar la realidad profesional. Y su tratamiento es particularmente complejo en el curriculum de estructura clásica, de corte disciplinar.
Los espacios de prácticas profesionales - de reciente incorporación en algunas de las carreras declaradas de “interés público” y acreditadas en el marco del artículo 43 de la Ley de Educación Superior (24521), y con inclusión diversa y de larga data en otras carreras- tienen la intención de incluir en la formación el repertorio de estrategias de intervención y habilidades técnicas requeridas en el desarrollo de tareas profesionales; pero también involucran la internalización de usos y costumbres derivadas de las "culturas de trabajo" propias de los contextos de desempeño.

En muchas experiencias llevadas a cabo en el marco de las modificaciones curriculares de distintas carreras del ámbito universitario, se advierte una representación de los espacios

destinados a la formación de prácticas profesionales (con distintas denominaciones y ubicación) como espacios separados de los espacios académicos y ubicados, por lo general, al final de la carrera; en su mayoría se prescriben como horas a acreditar por el o la estudiante en contextos de trabajo (considerando que la rutina laboral es formativa en su dimensión socializadora). En ellas por lo general domina la lógica del trabajo, sin posibilidad de tratamiento académico más que la exigencia burocrática de certificar que el o la futuro egresado cumplió con una estadía en un ámbito real de trabajo.

A pesar de que los espacios de práctica constituyen oportunidades de aprendizaje de gran valor en la formación profesional y abren nuevos rumbos en los desarrollos del currículum por su potencia para contrarrestar la fragmentación y descontextualización en la transmisión de saberes, podríamos decir que las repercusiones son escasas en las instituciones. Se encuentra aún obturada a nivel institucional la posibilidad de una discusión sobre la incorporación de un enfoque que valorice los saberes construidos y experimentados en los diferentes contextos de trabajo. La visión disciplinaria del currículo por sobre la de los saberes integrales o competencias complejas es una interferencia de peso para repensar los espacios de práctica a lo largo de la carrera. Y por lo general los cambios curriculares que responden a requerimientos de alguna norma o prescripción externa son entendidos como sumatoria de contenidos nuevos a los contenidos existentes y crean, en el decir de Daniel Feldman, un curriculum tipo mosaico (Feldman, 1994). Esta yuxtaposición condensa interpretaciones actuales y residuales tanto a nivel de los sujetos como de las instituciones e impactan en el despliegue de prácticas heterogéneas.

Desde una concepción de curriculum amplia y como fue expresado en otra oportunidad (Abate y Orellano, 2015) podemos decir por un lado que, frente a las exigencias del contexto, la inclusión de saberes prácticos no sólo son incorporados a nivel de las intenciones manifiestas en el plan de estudios, sino que los sujetos –docentes y alumnos- los hacen entrar en juego a través de la enseñanza y de las demandas de aprendizaje. Reconocer esto permite destacar el papel que tienen las propuestas de enseñanza y evaluación de las cátedras al exigir de los alumnos ciertas competencias vinculadas a las demandas del contexto actual, y la respuesta diferencial en relación a una valoración también diferencial de las demandas del contexto.

Con respecto a lo antes mencionado, en muchos casos en que la práctica es abordada al interior de las asignaturas técnicas, se lo hace desde las habilidades y procedimientos profesionales genéricos que el estudiante tiene que demostrar en instancias de acreditación (por ejemplo, demostrar experticia en la escritura de informes técnicos, exponer en público con estrategias de comunicación eficaz, desarrollar trabajos en equipo con reglas propias de los ámbitos laborales). Esto motiva preguntas respecto a cuál es el sentido de que las reglas de juego vinculadas a la socialización del ámbito laboral irrumpan tempranamente en la formación de grado, qué tipo de diálogo o puentes se establecen entre los espacios formadores de práctica y las demandas del mercado laboral, y qué situaciones vale la pena poner a disposición.

Por otra parte, las líneas de investigación que analizan las prácticas profesionales en relación con los procesos formativos y el trabajo, dan cuenta de la necesidad de poner en duda posturas que buscan estandarizar estos saberes en vistas a su enseñanza. Pensar en un abordaje que opte por la implementación del modelo de enseñanza por competencias en un ámbito en el que la asignatura sigue siendo el eje mediante el cual se piensa la creación y desarrollo curricular, hace correr el riesgo de banalizar la práctica, resultando en una desintegración de sus elementos a la manera de un listado extenso de objetivos operacionales. Ante este riesgo, se puede optar por una perspectiva que reconozca la constante diferenciación y evolución de los campos de prácticas que hace al carácter histórico y por tanto contingente de las mismas.

Este componente de singularidad, y su carácter colectivo, complejiza la definición de los saberes en uso en las prácticas, los cuales pareciera que se resisten a ser "capturados" para su tratamiento curricular. En el artículo citado más arriba (Abate y Orellano, 2015) se coincidía con el sociólogo francés Phillipe Perrenoud en que los saberes profesionales también necesitan ser traducidos o abordados didácticamente para disponerlos para el aprendizaje. Su transposición debe considerar "…la necesaria integración de esos saberes en situación de acción: un médico no es la suma de un farmacólogo, un biólogo, un patólogo, etc. Se transpone asimismo a partir de saberes profesionales constituidos, que no son saberes en el sentido clásico del término, aún si estos saberes están codificados. Se transpone también a partir de "saberes prácticos", todavía menos codificados que los saberes profesionales. Se transpone, finalmente, a partir de prácticas, que ponen en juego no sólo saberes, sino también una cultura, un habitus, unas actitudes, un "saber-ser"." (Perrenoud, 1994).

Por su parte, los avances en la reflexión didáctica sobre la formación universitaria contribuyen a poner de relieve aspectos no siempre contemplados de los procesos formativos. En este sentido, el didacta argentino Daniel Feldman (2014) sostiene que "… la formación universitaria es un camino de incorporación en comunidades especializadas, en un proceso que, más allá de las diferencias según los campos, se caracteriza no solo por la adquisición de conocimientos y competencias, sino por llegar a "ser como…". En este recorrido los futuros egresados experimentan sucesivos cambios y transformaciones, así como también varían las funciones del conocimiento en los distintos momentos." (p. 1) Este mayor conocimiento respecto de los procesos formativos va de la mano del desarrollo de las didácticas de las profesiones, las cuales han ido cobrando mayor interés tanto por parte de las universidades como desde los mercados laborales y los cuerpos profesionales, que comienzan a atender a la calidad de la formación que reciben los estudiantes y a las competencias evidenciadas por los graduados recientes (Camilloni, 2014:3).

Disponer los saberes prácticos-profesionales significa también atender al desafío de abandonar la actual postura contenidista de la enseñanza, para lograr hacer "enseñable" la dimensión de los conocimientos tácitos. Estos conocimientos han sido estudiados por el reconocido filósofo y profesor americano, Donald Schön (1987) y se componen de una rica acumulación de conocimiento personal vinculado a la percepción, a la acción o al juicio existente en las acciones espontáneas del individuo. Se trata de un conocimiento implícito inherente a la actividad práctica que acompaña permanentemente a la persona que actúa.
En ese conocimiento están presentes tanto los saberes proposicionales de carácter teórico como el saber-en-la-acción, procedente de la práctica profesional, y que es algo tácito, espontáneo y dinámico.
Schön, a partir de investigar casos de profesionales en acción, construyó el concepto de reflexión en la acción como una contribución a la mejor comprensión de los rasgos particulares del trabajo profesional – superando la mirada instrumentalista y aplicacionista - y en vistas a mejorar la formación de los profesionales. Este autor propone así incorporar "el saber práctico" como parte central del desempeño de los profesionales, introduciendo el concepto de "reflexión-en-acción" como descripción del modo en que se pone en juego un saber particular, no codificado.

2. Interrogantes (macro).

En primer lugar, y como se expresó anteriormente, las prácticas en las carreras de grado son instancias curriculares complejas que resultan del producto de determinaciones sociales e institucionales que van configurando formas compartidas de interpretar la realidad profesional. Es por esto que resulta vital abordarlas en su dimensión institucional, igualmente compleja y no lineal, para pensar los espacios y modos en que se construyen, traducen y jerarquizan los saberes prácticos profesionales para su enseñanza. Siendo la universidad una institución formadora de profesionales, se puede reconocer en principio que la impronta y los sesgos que como institución realice en el tratamiento de los saberes prácticos tendrá que ver con el

modelo en que se referencie, por ejemplo: más orientado a la investigación académica o a la formación de corte profesionalista.

Esto invita a preguntarse qué registros institucionales se pueden identificar sobre las experiencias de tratamiento curricular de los saberes prácticos; si prevalecen en estos registros una imagen de confianza en la sola vivencia de las prácticas como instancia formativa; y si se pueden identificar matices entre imágenes que describen a las prácticas como instancias en las que se hace "como si" e imágenes que las describen como experiencias formativas contextualizadas en prácticas profesionales relevantes y desde los saberes que se reconocen y serían valorados en estas prácticas.

En segundo lugar, y haciendo una mirada complementaria a esta caracterización clásica de las instituciones universitarias a partir de la cual estudiemos la formación profesional desde los diversos modos de habitar las instituciones y la gestación de "micromundos" que conmueven las formas tradicionales de lo escolar, la autoridad, el predominio del saber universal, la linealidad de los tiempos (Duschatzky, 2007), podemos preguntarnos cuáles son estos "micromundos en gestación" con poder de decisión en nuestra unidad académica y si éstos se están aviniendo a ser interpelados por los saberes prácticos repensando la formación profesional como un proceso de importantes vinculaciones interior-exterior.

3. Primeros datos empíricos: la voz de estudiantes y recientes egresados

A la par que el equipo de investigación se encuentra abocado a profundizar la caracterización teórica de las prácticas profesionales y su impacto en el estudio del curriculum, realizamos una primera lectura de las respuestas a un cuestionario que se aplicó a fines de junio y principio de julio del 2020 a un grupo de estudiantes cursantes de los dos últimos años de carreras de ingeniería y recientes egresadxs, participantes a su vez de comisiones de carrera, agrupaciones estudiantiles y otros colectivos con identidad en la institución.

De 61 cuestionarios enviados, se recibieron 46 respuestas que fueron agrupadas en dos dimensiones: opiniones sobre la experiencia transitada en relación a la formación práctica profesional y propuesta de mejora.

3.a) Visiones sobre la experiencia:

- Las prácticas en las PPS y en Trabajo Final

Según nos contaron los y las consultados, estas actividades dejan un saldo positivo: "TF constituye una buena experiencia; una posibilidad de profundizar en un tema de interés y como una manera de cerrar un ciclo". Y cada experiencia de PPS parece ser una configuración compleja, única y azarosa que se da en un cruce entre instituciones, personas, momentos, oportunidades, iniciativa o recursos personales. A partir de sus respuestas, nos preguntamos para profundizar: qué imágenes sobre el "hacer en ingeniería" se llevan de estos espacios formativos formalizados en los Planes de Estudio.

- Valoraciones de otros espacios de práctica en la carrera

Valoraron experiencias que los acercaron a la realidad profesional y a su vínculo con sus bases conceptuales y técnicas, a habilidades para el ámbito laboral y el trabajo en equipo, a saberes humanísticos para reflexionar sobre la ingeniería. Mencionan experiencias en materias que permiten ver diferentes realidades de la profesión, que compartieron un enfoque comprometido con el ambiente y con la construcción de una actitud profesional responsable, que dan oportunidad para formar un criterio ingenieril. También mencionaron: práctica y auditoría en obras, visitas a empresas, prácticas de laboratorio y trabajos de investigación.

- Lo nuevo y singular de las experiencias extracurriculares

Mencionan aquellas experiencias que lxs acercaron a una perspectiva social de la ingeniería y a adquirir "habilidades blandas" en espacios con reglas distintas a la evaluación académica, tales como: formar el carácter, planificar y gestionar, tener un accionar responsable, aprender a “escuchar al otro”, conocer áreas y experiencias profesionales, realizar tareas rutinarias y tediosas. Mencionan experiencias en Extensión, Asociaciones Estudiantiles, Agrupaciones Políticas, Consejo Directivo, Becas en Laboratorios / UIDET, Seminarios y Jornadas en la FI, Club de Robótica, Talleres de microelectrónica, Ayudantías y Tutorías.

- Elementos que debe reunir un buen trabajo de ingeniería

Las respuestas correspondientes a este ítem fueron organizadas en tres grupos:
Características de la obra: eficiente, económico, flexible, legal y ecológico. Que considere lo estético, lo ambiental y lo social. Simplicidad. Funcionalidad. Buen propósito, acordado con la sociedad. Creativo. Original. Práctico. Adaptable a distintos escenarios. Viable.
Aspectos técnicos: referidos al diseño y proyecto, a la configuración de la demanda, pertinencia y sentido humano, y a la precisión de los datos. Plazo, costo, calidad.
El trabajo como actividad subjetiva-social: responsabilidad, empatía. Ética, compromiso, trabajo interdisciplinario. Pasión por la profesión elegida, disciplina, formación profesional, buena formación humana. Saber comunicarse.

3. b) Mejoras propuestas

- Prácticas a lo largo de la carrera

"Mejorar la integración entre los laboratorios y los trabajos prácticos” "Que todos los alumnos puedan acceder y se lleven a cabo en las distintas materias de la carrera” “Que existan propuestas desde la facultad interdisciplinarias a las cuales los chicos se puedan anotar y de última que queden en una lista de espera o banco de información

- Articulación entre facultad y espacios de práctica externos.

“Crear una cátedra de PPS en cada carrera, como con el trabajo final" “Mejorar la difusión de posibilidades para realizar las PPS" “Más posibilidad para realizarlas para quienes se les dificulta encontrar el lugar para cumplirlas”. "Definición conjunta de objetivos. Revisión periódica entre facultad, estudiante y empresa”. "Extendería el accionar de Vinculación con el Medio/Extensión a trabajos de campo hecho en materias e incluso para Trabajos Finales. “

- Prácticas que acerque la ingeniería a problemas sociales.

"Acercar a los estudiantes a las realidades sociales" “Me gustaría mucho que se dé más visibilidad a los proyectos de extensión desde el inicio de la carrera”. "No todo es hormigón y ciudad cuadriculada, la Argentina es un país inmenso, hermoso y lleno de riquezas, pero que aún está en pañales en alguno

4. Conclusión

En primer lugar, cruzando conceptos teóricos, interrogantes (macro) con la experiencia de los consultados y las consultadas, afirmamos que es vital la mirada institucional (y sus micromundos) para interpretar y dar visibilidad curricular a las experiencias potentes para la formación práctica profesional. Y, en segundo término, considerando que las habilidades llamadas blandas parecen ser las más reconocidas como aprendizajes de los espacios de formación práctica, constituye un desafío para el equipo de investigación indagar qué vínculos

se identifican entre estos aprendizajes con las cuestiones más técnicas (duras) de las prácticas profesionales y con las imágenes del buen hacer en ingeniería.

5. Bibliografía

Abate, S. M., Lucino, C., Lyons, S. (2014) Visiones sobre saberes socio-humanísticos en la formación de ingenieros: algunas conjeturas. I Encuentro Internacional de Educación. Espacios de Investigación y Divulgación. 1a ed. Tandil - Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Abate, S. M. y Orellano, V. (2015): Notas sobre el curriculum universitario, prácticas profesionales y saberes en uso. Revista Trayectorias Universitarias. Volumen 1. Nº1.

Camilloni, A. (2014): Las Didácticas de las profesiones y la Didáctica General. Las complejas relaciones de lo específico y lo general en Civarolo M. y Lizarriturri, S. en Didáctica General y didácticas específicas: la complejidad de sus relaciones en el nivel superior. Villa María: Universidad Nacional de Villa María.

Duschatzky, S. (2007). Maestros errantes. Experimentaciones sociales en la intemperie. Buenos Aires: Paidós.

Feldman, D. (1994). Curriculum, maestros y especialistas. Buenos Aires: Libros del Quirquincho. Capítulo VII: “Los “usos” del curriculum” (selección pp.91-97)

Schôn, D. (1987): El profesional reflexivo: cómo piensan los profesionales cuando actúan. Paidós. Buenos Aires.

PRÁCTICAS DOCENTES EN TIEMPOS DE PANDEMIA: LA EXPERIENCIA DE LA CÁTEDRA INGENIERÍA BIOQUÍMICA I DURANTE EL AÑO 2020.

Castañeda, M. Teresita✉; Vita, Carolina; Figoli, Cecilia; López Guerra, A. Gabriela; Fernández, Mariela; Yantorno, Osvaldo; Bosch, Alejandra.

Cátedra de Ingeniería Bioquímica I, Departamento de Química, Área Biotecnología, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. Calle 48 y 115, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
✉ e-mail: castaneda@biotec.quimica.unlp.edu.ar

Palabras clave: Ingeniería Bioquímica 1, COVID-19, enseñanza virtual, laboratorio virtual, tutorías.

1.-INTRODUCCIÓN

Durante el año 2020 el mundo sufrió una de las pandemias más serias de su historia. Lo que comenzó en diciembre del 2019 como un brote de casos de neumonía grave en la ciudad de Wuhan, provincia de Hubei, China, rápidamente se expandió a lo largo del mundo [1]. El agente etiológico responsable de la enfermedad es el virus del síndrome respiratorio agudo severo tipo-2 (SARS-CoV-2) [2]. La enfermedad denominada COVID-19 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en febrero del 2020 [3] fue declarada pandemia el 11 de marzo del mismo año [4]. Al día de hoy, el COVID-19 ha afectado a más de 169 millones de personas a nivel mundial, cobrándose más de 3,5 millones de vidas [5].

En Argentina, el Poder Ejecutivo Nacional adoptó las recomendaciones de la OMS y, en base a la experiencia recogida en diversos países de Europa, tomó la determinación de sancionar el Decreto de Necesidad y Urgencia DNU 297/2020 [6]. Este decreto con fecha 19/03/2020 estableció el Aislamiento social preventivo y obligatorio (ASPO). De acuerdo con este, las personas debían permanecer en sus residencias habituales absteniéndose de concurrir a sus lugares de trabajo, con el fin de prevenir la circulación y el contagio del virus SARS-CoV-2 [6]. Adicionalmente, el Ministerio de Educación estableció la resolución 2020- 104 [7] que recomendaba a las Universidades adecuar la actividad académica a la situación impuesta por la pandemia y adoptar las medidas necesarias para garantizar el desarrollo del calendario académico. Tomando en consideración todo lo anterior, la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) resolvió en marzo del 2020 que mientras se mantuviera el estado de emergencia sanitaria se suspenderían las actividades académicas presenciales, implementando la modalidad de enseñanza a través de campus virtuales y otros entornos digitales [8]. A partir de estas recomendaciones, los docentes comenzamos una etapa de readecuación de contenidos y adaptación a entornos virtuales para garantizar el adecuado desarrollo de las actividades académicas.

Los autores de este trabajo nos desempeñamos como docentes en la cátedra de Ingeniería Bioquímica I durante el segundo semestre del 2020. Ingeniería Bioquímica I es una materia obligatoria de cuarto año de la carrera de Ingeniería Química, dictada en la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Se trata de la primera materia con contenidos en ciencias biológicas de esta carrera que incluye conceptos fundamentales como: procesos biotecnólogos, biomoléculas, microbiología, operaciones de recuperación y purificación de productos biotecnológicos, esterilización, metabolismo microbiano, entre otros. La cátedra está organizada en clases teóricas y prácticas. En la presencialidad, las clases teóricas se dictaban los viernes en modalidad Power point, pizarrón y talleres de discusión, mientras que las clases prácticas se dictaban los miércoles y constaban de tres ejes centrales, los seminarios con cuestionarios para desarrollar, trabajos prácticos de laboratorios y trabajo final integrador.

Tanto los conceptos como prácticas de laboratorio tienen especial relevancia para los alumnos, ya que representan estructuras de aprendizaje nuevas que deben incorporar, no fácilmente extrapolables a otras estructuras generadas a lo largo de la carrera. En los últimos años la cátedra viene trabajando de manera continua en la mejora de la calidad y actualización permanente de los contenidos, así como también en la manera de transmitir dichos conocimientos [9,10]. A comienzos del 2020, la pandemia nos trajo nuevos desafíos a los anteriormente planteados que incluyeron adaptar de contenidos teóricos y prácticos a la virtualidad, incorporar conocimientos para trabajar en las plataformas virtuales ofrecidas por la UNLP, implementar nuevos métodos de evaluación, entre otros.

En el presente artículo deseamos contar nuestra experiencia de adaptación del dictado de Ingeniería Bioquímica I durante el 2020, así como evaluar los aspectos más relevantes de las prácticas docentes en tiempos de pandemia.

2.- DESARROLLO

2.1 Organización de la cátedra en la presencialidad.

Como ya indicamos anteriormente, durante el dictado presencial de la asignatura, la misma se dividía en clases teóricas y prácticas. A su vez, las clases prácticas constaban 3 instancias de aprendizaje definidas:

- Seminarios: En estos encuentros semanales se desarrollaban de forma concisa conceptos relevantes sobre microbiología, biotecnología, y particularmente, producción y purificación de productos biotecnológicos. Finalizado el seminario los alumnos se reunían en grupos de no más de 5-6 personas y contestaban un cuestionario con preguntas/problemas sobre el seminario dictado. El objetivo de esta instancia era fomentar el trabajo grupal y colaborativo, con la guía de los docentes, que intervenían en los casos necesarios.
- Laboratorios: A lo largo de la cursada se llevaban a cabo 5 laboratorios: (1) Microscopía, (2) Preparación de medios de cultivo, (3) Separación de productos de interés biotecnológico, (4) purificación mediante cromatografía y (5) Electroforesis. Es importante resaltar la importancia de estos trabajos prácticos ya que gran parte del equipamiento y técnicas vistas en ellos son desconocidos por el alumnado. Las mismas se llevaban a cabo en los laboratorios del FOMEC. Debido a la cantidad de alumnos que cursan normalmente la materia, los separábamos en 3 comisiones para que pudieran tener un mejor acceso al material, a la información y trabajar activamente en la realización de las prácticas.
- Trabajo integrador: al principio de la cursada a cada grupo de trabajo se les proponía que seleccionara un producto biotecnológico de estudio para la elaboración del trabajo final. A tal fin, se le brindaba material bibliográfico (trabajos de investigación/review/capítulos de libro). El trabajo tenía como finalidad la integración de contenidos de toda la cursada. Para ello, en cada seminario se incluían preguntas del trabajo integrador en concordancia con lo dado en el seminario. De esta manera, el alumno puede realizar un recorrido de los temas a través de la realización de este trabajo. Con la información recabada a lo largo de los seminarios sobre su producto tecnológico, los alumnos elaboraban una presentación y la socializaban con sus compañeros en dos encuentros presenciales, siendo esta una instancia de evaluación adicional.

Todo el material de la teoría y práctica (Power point, bibliografía, guía de estudios, cuestionarios de los seminarios, etc), estaban disponibles en una cuenta de Dropbox de la cátedra a la cual los alumnos tenían acceso.

2.2 Adaptación de la materia a la modalidad virtual.

Frente al desafío del desarrollo de la cursada en forma virtual, diseñamos entre los docentes un plan de cursada que permitiera a los alumnos acceder a los contenidos previstos en el programa de la materia, entendiendo las particularidades de esta coyuntura. Para el dictado de las clases teóricas implementamos un encuentro semanal no obligatorio sincrónico. Este encuentro era grabado y subido a Aulas Web junto con todo el material ofrecido durante la clase (enlaces a videos, bibliografía, etc) de manera que el alumno pudiera disponer de él de manera asincrónica cuando tuviera el tiempo o la conectividad adecuada para hacerlo. En el caso particular de las clases prácticas, se implementaron los siguientes cambios:

- Seminarios: Tanto el contenido como la duración de cada seminario fue revisado para adaptarlos a la nueva modalidad virtual teniendo en cuenta que algunos temas meritaban mayor dedicación que otros, en particular cuando no podíamos reforzar en el laboratorio los contenidos teóricos brindado en los seminarios. La readecuación más importante fue que el seminario se dividió en dos encuentros. En el primer encuentro sincrónico, el docente a cargo exponía el seminario. Ese mismo día, el alumno contaba con la propuesta correspondiente al seminario (cuestionario de preguntas/problemas) y debían reunirse en forma grupal (5-6 alumnos) para resolverlo fuera del horario de la clase. El material del seminario (Power point y video de clase) estaba disponible de manera asincrónica, y, además, se habilitó un foro de consultas de los seminarios.
- Tutorías: Se estableció un sistema de tutorías sincrónico para discusión de las propuestas grupales. Para estos encuentros cada auxiliar docente fue tutor de 2 grupos. El sistema funcionaba de manera que la semana siguiente al seminario los alumnos con sus respectivos tutores se encontraban para discutir las respuestas del seminario anterior haciendo un análisis detallado de cada pregunta, compartiendo opiniones y reforzando conceptos. Durante estos encuentros los grupos también discutían las preguntas acerca de su trabajo integrador, los cuales se mantuvieron en esta modalidad de cursada. Una vez finalizada la tutoría, los alumnos estaban en condiciones de completar/corregir sus producciones y enviarlas mediante entorno de Aulas web que era el medio de comunicación con los docentes. Previo al siguiente seminario recibían las devoluciones por parte del docente tutor.
- Prácticas de laboratorio virtuales: el mayor desafío de la virtualidad fue intentar reemplazar las prácticas de laboratorio. Ante la incertidumbre de no saber si al final del año se reactivaría la presencialidad en los laboratorios, y teniendo en consideración la importancia de estos en el aprendizaje de la materia, se idearon las prácticas de laboratorio virtuales a cargo de un docente. Estas consistieron en clases virtuales donde se introducía al alumno a las prácticas de laboratorio más habituales en bioprocesos, mediante protocolos, esquemas, fotos y videos de corta duración especialmente seleccionado para estos fines. Estos laboratorios virtuales se realizaban luego de la sesión de tutorías en forma sincrónica en un encuentro con todos los alumnos. Todas estas prácticas eran grabadas y subidas al entorno de Aulas web para que los alumnos puedan tener acceso de manera asincrónica.
- Trabajo integrador: Al final de la cursada se destinaron dos encuentros sincrónicos para las presentaciones de los trabajos integradores. En estas clases, los grupos debieron exponer

sus trabajos integradores y proponer preguntas para que sus compañeros puedan responder en base a lo expuesto. Al final de cada exposición se debatía en general sobre los interrogantes que podrían surgir a partir de las presentaciones. Los encuentros se convirtieron en una sala abierta, donde los integrantes de cada grupo tuvieron la posibilidad de ser escuchados y consultados en aspectos tecnológicos por sus pares. Cabe destacar también que este tipo de trabajo con exposición no es habitual durante la carrera, con lo cual contribuye a mejorar su oratoria.

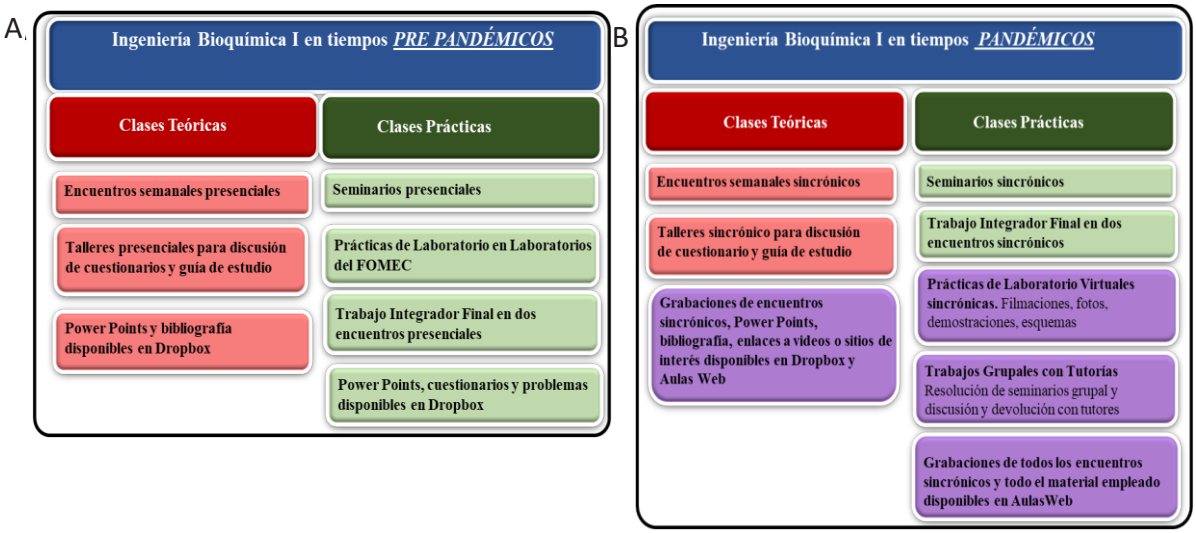


Fig. 1 Prácticas docentes en Ingeniería Bioquímica en condiciones de presencialidad (A) y virtualidad (B). En color violeta se resaltan las actividades implementadas en el contexto de la pandemia.

2.3 Encuesta sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje virtual.

Para poder evaluar las prácticas pedagógicas implementadas en la virtualidad y escuchar las voces de los principales actores, confeccionamos un cuestionario anónimo donde los alumnos además de responder preguntas pudieran volcar su opinión. La misma constó de tres ejes principales:

- Sección 1: “Queremos saber sobre vos y tus circunstancias en la virtualidad”. Esta parte de la encuesta tuvo por objetivo detectar las principales dificultades con la que se encontraron los alumnos respecto al acceso a equipamiento informático y la conectividad para cursar la materia.
- Sección 2: “Queremos saber tu opinión de la materia”: En esta sección se indagó sobre los contenidos de la materia, la modalidad de la cursada, los sistemas de tutoría, el trabajo dentro del grupo, las prácticas de laboratorio virtual y los trabajos integradores.
- Sección 3: “Queremos escucharte”: Esta última sección pretendía escuchar las voces de los alumnos, su evaluación acerca de la cursada virtual y sus sugerencias.

3.-DISCUSIÓN

En esta sección discutiremos los principales resultados de la encuesta realizada. De un total de 56 alumnos que cursaron la materia, 40 accedieron a responder la encuesta. A continuación, presentaremos los resultados más relevantes:

3.1 Resultados de la Sección 1: "Queremos saber sobre vos y tus circunstancias en la virtualidad".

Los resultados de la evaluación de la Sección 1, que indagaban en el nivel de dificultad que afrontaron los alumnos para seguir las clases en forma virtual, se presentan en la Fig. 2. Como podemos ver en la Fig. 2-A, la mayoría de los alumnos tuvieron la posibilidad de contar con una computadora para seguir las clases, ya sea de uso personal (70%) o compartida con el grupo familiar (25%). Los que no pudieron contar con una computadora, siguieron las clases por medio del celular (5%). El hecho de que algunos alumnos no contaran con una computadora de uso exclusivo tuvo incidencia con la posibilidad de seguir las clases en forma sincrónica. Como puede verse en la Fig. 2-B, más del 30% de los encuestados tuvo inconvenientes para conectarse en los horarios de cátedra los miércoles, viernes o ambos días. Estos resultados recalcan la importancia de que los alumnos puedan acceder fácilmente a las grabaciones de las clases, así como el material de la clase (diapositivas), ya que como puede verse en la Fig. 2-C y Fig. 2-D la mayoría de los alumnos siguieron las clases en forma asincrónica, o bien, luego de cursarla en forma sincrónica la volvieron a consultar.

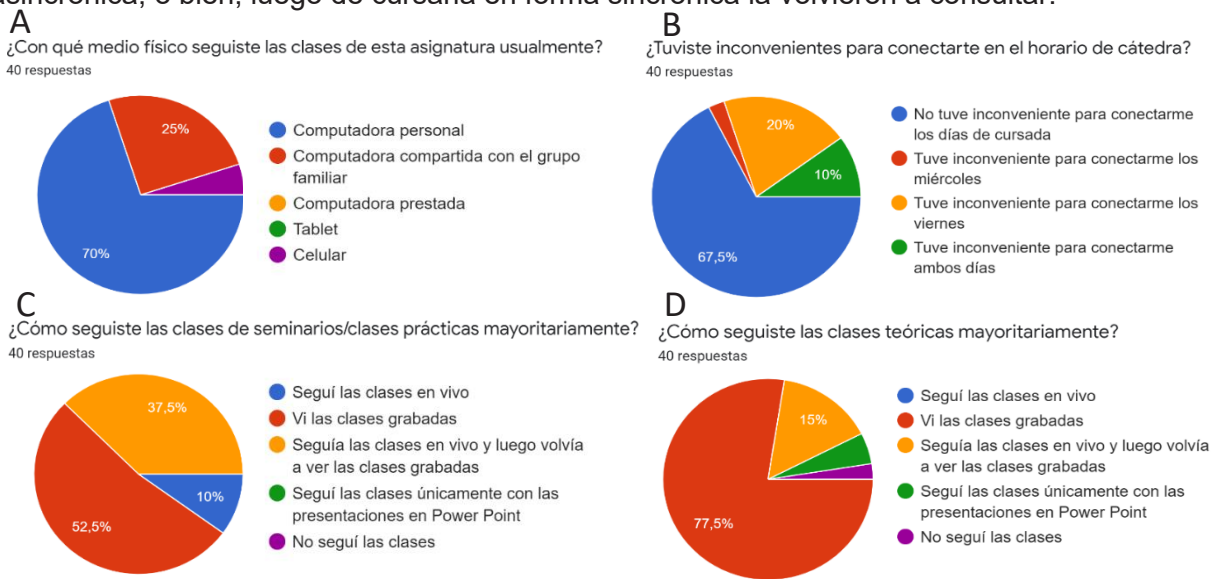


Fig. 2 Respuestas sobre conectividad, disponibilidad de recursos informáticos y seguimiento de clases.

3.2 Resultados de la Sección 2: "Queremos saber tu opinión de la materia".

A continuación, se presentan algunos resultados concernientes con el sistema de tutorías en grupos y las prácticas de laboratorio virtuales, que son las principales incorporaciones de la materia para adaptarla a la virtualidad. En primer lugar, como puede verse en la Fig. 3-A, el sistema de tutorías en grupos reducidos fue muy bien ponderado por los alumnos (92,5%). Si bien la mayoría de los alumnos (75%) considera que pudo trabajar muy bien en grupos, un 17,5% reconoce que la participación y el aporte fue dispar dentro del grupo (Fig. 3-B). Muchas veces esto se debe al número de participantes por grupos (5-6), lo cual se tendrá en consideración para los próximos años.

En lo que respecta a las prácticas de laboratorio virtual, las respuestas fueron variadas. Un 61,5% de los alumnos declaró que le sirvió mucho estas prácticas, un 17,9% respondió que le sirvió como información complementaria pero no terminó de entender cómo se lleva a cabo en la práctica y un 10,3% entendió las prácticas experimentales solo en algunos temas (Fig. 4-A). En relación con los temas abordados, en general tuvieron muy buena recepción ya que

los alumnos consideraron que los temas tenían relevancia para su formación y futuro profesional (Fig. 4-B). Para los docentes es importante conocer la opinión de los alumnos acerca de los contenidos dictados, ya que como mencionamos anteriormente, venimos trabajando en la mejora continua de la materia.

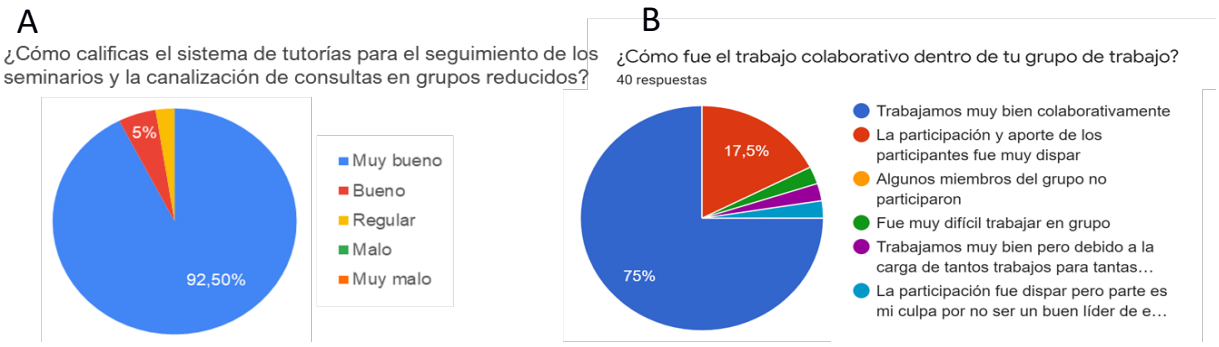


Fig. 3. Respuestas sobre el sistema de tutorías en grupos reducidos

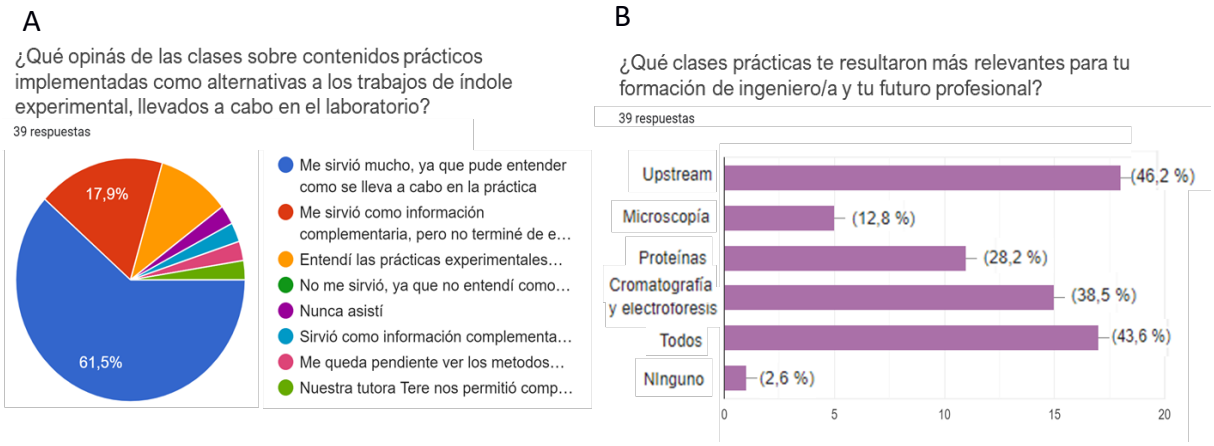


Fig. 4 Respuestas sobre las prácticas de laboratorio virtuales

3.3 Resultados de la Sección 3: "Queremos escucharte".

Finalmente, quisimos indagar en la opinión de los alumnos acerca de la cursada en modalidad virtual. Como puede observarse en la Fig. 5-A, el 92,5% de los alumnos reconocieron el esfuerzo de los docentes para adaptar la materia a esta nueva modalidad y 7,5% consideró que faltaron ajustes menores. Por otro lado, el 62,5% de los alumnos considera que la virtualidad no fue un impedimento para aprender adecuadamente la materia, mientras que el 35% si bien reconoce que no fue un impedimento, hubiese preferido cursarla de manera presencial (Fig. 5-B). En este sentido le prestamos especial atención a las encuestas de alumnos que indicaron que eran recursantes, y el 100% de ellos coincidieron en que la virtualidad no resultó un impedimento para aprender la materia. Este resultado es muy importante, ya que estos alumnos pudieron cursar la materia de manera presencial y no encontraron falencias considerables en esta nueva modalidad de cursada.

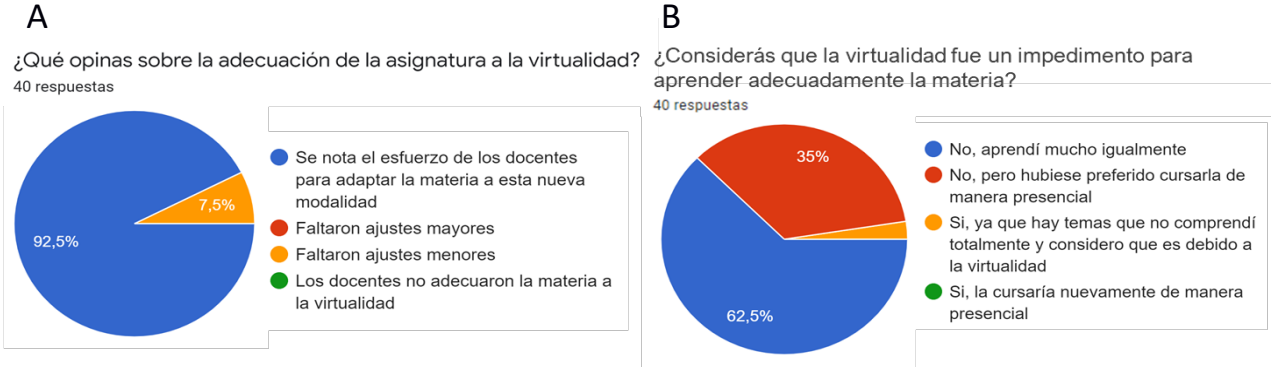


Fig. 5 Respuestas sobre la adecuación de la materia a la virtualidad

Entre los comentarios de los alumnos surgieron como problemáticas/sugerencias principales:

- Si bien se observó la importancia de la grupalidad como factor de contención vincular, se debería tener mayor control en la forma de trabajo de los grupos, para evitar que la participación sea dispar.
- Permitir que los alumnos que no pudieron cursar los laboratorios puedan hacerlo una vez que volvamos a la modalidad presencial.
- Destacan la importancia de poder acceder a las clases grabadas, ya que muchos se vieron sobrepasados por la cantidad de trabajo en otras cátedras y veían las clases en forma asincrónica.

4.- CONCLUSIONES

El año 2020 nos trajo muchos desafíos en el ámbito personal y profesional. La pandemia golpeó duro en el campo educativo ya que tuvimos que enfrentarnos a una situación que para muchos era nueva, como lo es el dictado de las cátedras en modalidad virtual. Las tareas que se llevaron a cabo no solo consistieron en adaptar los contenidos a la nueva modalidad, sino también, generar espacios de encuentro, apoyo y contención para nuestros alumnos. Desde la cátedra de Ingeniería Bioquímica I trabajamos colaborativamente profesores y auxiliares para encontrar la mejor forma de impartir el conocimiento en épocas de pandemia. Si bien estamos convencidos que hay prácticas presenciales indispensables, como los trabajos prácticos de laboratorios, hemos diseñado nuevas estrategias de enseñanza tales como el sistema de tutorías en grupos y las prácticas de laboratorios virtuales, las cuales tuvieron como objetivo acompañar a los alumnos en el proceso de aprendizaje global de la asignatura. Tuvimos una muy buena recepción por parte de los alumnos, los cuales han participado activamente y nos han acompañado en este proceso de enseñanza-aprendizaje. En esta oportunidad, como en años anteriores las devoluciones recibidas por parte de los alumnos nos ayudan a mejorar la cátedra. Finalmente, este año de pandemia nos dio la posibilidad de adquirir nuevos conocimientos, herramientas e insumos que podrán ser implementados en los futuros cursos, ya sean virtuales, presenciales o mixtos.

5.- BIBLIOGRAFÍA

[1] Sohrabi, C., y otros (2020). World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *International journal of surgery*, 76, 71-76.
[2] Díaz-Castrillón, F. J., & Toro-Montoya, A. I. (2021). SARS-CoV-2/COVID-19: The virus, the disease and the pandemic. *Medicina & laboratorio*, *24*(3), 183-205.
[3] WHO report: https://www.who.int/es/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-remarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020
[4] WHO report: https://www.who.int/es/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020
[5] https://www.worldometers.info/coronavirus/.
[6] https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-297-2020-335741/texto.
[7] https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/226749/20200316.
[8] https://unlp.edu.ar/frontend/media/34/25934/9a41a97dea0e4d00507045019e4b5753.PDF.
[9] Vita, C. E., y otros (2018). Implementación de trabajos especiales en Ingeniería Bioquímica I. In *II Jornadas sobre las Prácticas Docentes en la Universidad Pública (La Plata, 2018)*.
[10] Vita, C. E., y otros. (2020). Evaluación diagnóstica como herramienta para la mejora continua de la materia de grado Ingeniería Bioquímica I. In *III Jornadas sobre las Prácticas Docentes en la Universidad Pública (Edición en línea, junio de 2020)*.

LA ARTICULACIÓN ENTRE EL TERRITORIO Y LA UNIVERSIDAD EN CLAVE SOCIO-TECNOLÓGICA

Juan Francisco Martiarena, Gustavo Saralegui

Resumen: La economía social y la forma cooperativa de organización para el trabajo es una forma de organización originada a fines del siglo XIX. Bajo este esquema se promueve un modelo alternativo en el que se articulan dos dinámicas: la coordinación desde abajo y la promoción desde arriba. Por un lado la interacción entre las cooperativas y los/as cooperativistas que van formando redes y tramas de interacción social donde circulan valores de solidaridad y reciprocidad, y por el otro el Estado como agente director del desarrollo a partir de la gestión de políticas públicas que lo favorezcan.

La Universidad, como parte del estado, es un agente con el poder de fuego para construir agenda al respecto. El debate sobre qué modelo hegemoniza la "tecnociencia" latinoamericana es abordado desde la perspectiva de la Sociedad del Conocimiento, que en países como la Argentina requiere de un refuerzo de intensidad tanto por los procedimientos que involucran como por la inclusividad que se necesita impregnarle para su concepción.

Sobre este cuerpo de ideas, el trabajo se propone trazar vínculos y lineamientos fundamentales para la generación y construcción de una agenda de trabajo basada en la utilización de tecnología con fines comunitarios. Se enumeran experiencias que partiendo de una visión integral de la universidad aportan soluciones concretas a problemas que hacen a la calidad de vida de los vecinos y vecinas de la región. Estas experiencias se articulan con organizaciones y cooperativas, siendo un aspecto fundamental en la generación de un entramado social que permite edificar proyectos político-académicos superadores.

La tecnología para la producción social

La perspectiva dominante sobre el uso de la tecnología se encuentra hoy hegemonizada por el concepto de maximizar la ganancia, a costa del uso indiscriminado de los recursos naturales y de la reducción en la construcción de sociedad organizada. Como contrapartida surge la concepción de la tecnología para la producción centrada en el trabajo, con principios ecológico-sociales y cooperativos. Fundamentada sobre principios éticos en donde la resolución de los problemas viene de la mano de la formación de una sociedad integrada y sustentable.

La utilización de las ciencias básicas que conocemos en función de la perspectiva social de la tecnología contribuye a fundar unidades productivas con los principios de sustentabilidad. Los usuarios de estas tecnologías son unidades productivas ya existentes, por lo que no se trata de una expresión de deseo ni de una idea quimérica sino que contamos en la actualidad con organizaciones de producción que plantean un nuevo horizonte hacia el que va o podría ir el avance tecnológico desarrollado en las universidades. La colaboración entre las instituciones del estado y las organizaciones permite pensar en co-desarrollar la tecnología utilizando principios de producción ambientalmente sustentables, buscando un equilibrio productivo entre metas de rentabilidad y productividad, conjugadas con la calidad, la sustentabilidad y el carácter cooperativo de la producción. Aparece aquí una nueva definición que se refiere a la mínima rentabilidad sustentable, entendida como el piso de rentabilidad

establecido en función de minimizar el deterioro ambiental. Se incorpora así una nueva dimensión que tiene relación con el entorno, con la historia y la trayectoria de la unidad productiva en la zona, que jerarquiza la relación con el barrio o lugar de establecimiento asumiendo su rol económico y social. No se trata de resignar rentabilidad sino de maximizarla considerando las interacciones que la unidad productiva genera, asumiendo que la afectación del ambiente es absoluta, independientemente de lo que cada legislación particular establece en cada región. En este sentido es importante destacar que la interacción entre los saberes previos de las unidades productivas y la producción científica y tecnológica en las universidades deben establecer un canal de diálogo que nutra mutuamente ambas partes y resuelva la componente de ignorancia que cada sector tiene. Se habla pues de co-diseñar y co-construir soluciones sustentables particularizadas en cada región.

En relación a los saberes que se producen en el ámbito universitario resulta interesante añadir otra variable que tiene que ver con los requerimientos de lo que se investiga y la financiación de eso que se investiga. Según datos de la UE[1], el 65% de la inversión en investigación proviene del sector privado. En los Estados Unidos, este número supera el 71%[2]. En nuestro país, según el "Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación: Argentina Innovadora 2020", la inversión del sector privado se encuentra en el rango de 21-25% de las inversiones en investigación[3]. De allí que en nuestro país el principal sostén del desarrollo científico y tecnológico sea el estado, aunque esto no signifique que sea el estado quien traza los principales lineamientos de qué, cómo y para qué se investiga.

Retomando el eje de la tecnología social y ambiental, pueden destacarse algunos aspectos característicos que la identifican:

- Es adecuada, ya que surge del diálogo entre las partes involucradas y sintetiza los saberes que se ponen en juego en estas relaciones,
- Es apropiable, ya que el desarrollo queda disponible en la unidad productiva para su posterior utilización. De alguna manera la transferencia se produce de manera bidireccional, ya que todas las partes son artífices del resultado.
- Es colaborativa, puesto que naturalmente existe un espíritu solidario entre distintas unidades, lo que permite pensar en un esquema de red en el que las distintas unidades colaboran unas con otras. Aquí conviene destacar que en un esquema tradicional, en el que el principio rector es la maximización de la ganancia, es difícil encontrar comportamientos de este tipo sino todo lo contrario: inteligencia industrial, adquisición de empresas que compiten entre sí, etc.
- Es sostenible, tanto desde el punto de vista productivo y de la calidad de la producción, pero también desde el punto de vista del trabajo y el medio ambiente. Particularmente respecto a la sustentabilidad laborar se puede añadir que es necesario acompañar las mejoras tecnológicas introducidas en el proceso de producción de mejoras en las condiciones laborales, ya que las tareas propensas a la automatización son ocupadas por los/as trabajadores/as en condiciones más vulnerables.
  En el marco de la pandemia de COVID 19, este aspecto resultó agudizado, golpeando principalmente el trabajo de jóvenes y mujeres[4].

La armonización de estas ideas requiere de profesionalización de las tareas y de una proyección de las actividades a realizar que involucra múltiples dimensiones: técnicas,

[1] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Europe_2020_indicators_-_R%26D_and_innovation&oldid=345979
[2] http://data.uis.unesco.org/Index.aspx?DataSetCode=SCN_DS&lang=en#
[3] Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación: Argentina Innovadora 2020
[4] https://blogs.imf.org/2021/03/31/working-out-the-differences-labor-policies-for-a-fairer-recovery/

sociales, ambientales, económicas, etc. Por lo que el desafío que se plantea, independientemente de la escala productiva, es enorme.

El camino para fortalecer este esquema comienza con la construcción de un acuerdo entre las partes, considerando que se trata de un proceso de producción social, donde los medios de producción son solidarios y las organizaciones autogestivas y democráticas. La tecnología social surge a demanda de las cooperativas para la mejora o innovación de un proceso sustentable y el resultado de esta interacción puede sintetizarse como una "patente cooperativa".

En las empresas tradicionales se desarrollan máquinas y equipos, siguiendo una **lógica técnico-económica** sujeta a los objetivos de maximización de la rentabilidad de los medios de la producción. En la Tecnología social y ambiental se adaptan las herramientas, máquinas, equipos, sistemas y metodologías a los **aspectos de naturaleza social y medioambiental** hasta ahora considerados en este proceso como externalidades. A diferencia de la concepción tradicional, la componente social y medioambiental se incorpora en la ecuación y pasan a ser parte de los principios básicos de la unidad productiva, sin perder de vista la búsqueda del equilibrio y la simetría para la estabilidad y la economía de esfuerzos.

La universidad, como parte del estado, debe asumir un rol activo en la generación de instrumentos para el diseño de políticas públicas. La implementación de la tecnología social en el marco de estas políticas incorpora dimensiones de nacionalización, sustentabilidad económica, social, cultural, ambiental, etc. Se desarrolla con la participación de quien la necesita y va a usarla, por lo que también significa una importante fuente formativa integral para la incorporación de personas al sistema productivo.

Algunas experiencias desde nuestra perspectiva

Sobre la base conceptual desarrollada anteriormente intentaremos recuperar aspectos de algunos proyectos particulares que tienen asiento en nuestra facultad. Estos proyectos surgen en base a la demanda detectada a junto a la articulación con organizaciones sociales, e intentan dar respuesta concreta a problemas específicos con la intervención de la universidad por un lado (representada a través de equipos de trabajo multidisciplinarios) y las organizaciones con sus unidades productivas (muchas veces integradas también por los vecinos y vecinas del barrio).

En lo que sigue abordaremos 2 proyectos y/o actividades para poner en relieve el trasfondo que persiguen y porqué es necesario generalizarlos. Estos proyectos abordan:

- **Saneamiento hídrico y calidad del agua**
- **El problema de la vivienda en argentina**

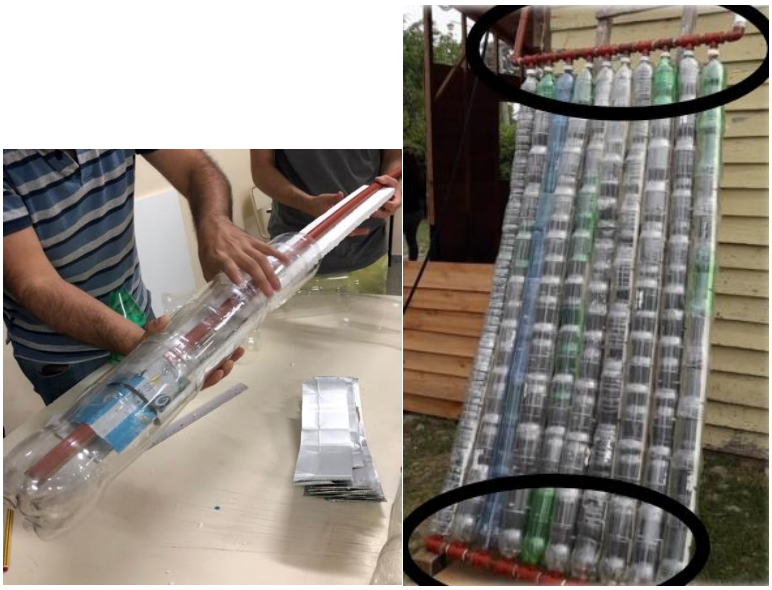
Saneamiento hídrico y calidad del agua

El proyecto se remonta al año 2014, y abarca temas relacionados con el acceso al agua, su tratamiento para la utilización y reutilización, etc. Un grupo de **estudiantes** empezó a organizarse para coordinar actividades de trabajo con organizaciones sociales de base territorial, y empezó a formalizarse (en los términos que nuestra universidad lo indica) a partir de 2016.

El primer proyecto fue el desarrollo de un termotanque solar. Estos dispositivos calientan agua a partir de la energía que absorbe del sol. La energía,que el sol transmite en forma de radiación, es recolectada mediante algún elemento que la transmite al agua. Existen

numerosos ejemplos comerciales de cómo aprovechar esta energía, pero particularmente este proyecto aporta soluciones técnicas teniendo en cuenta el entorno en el cual se quiere instalar, es de bajo costo, reutiliza envases descartables y presenta una complejidad para el ensamble relativamente baja con lo que puede resolverse en el ámbito familiar o con la ayuda de vecinos/as. Como insumos elementales se utilizan botellas de plástico, envases tetrabrick, latas y telgopor. Además de otros materiales de plomería. Ellos han generado documentación asociada para facilitar la fabricación y el montaje[5].

El segundo proyecto sobre el que trabajó el equipo fue en relación a la calidad del agua. Los ensayos para caracterizar la calidad del agua se dividieron en fisicoquímicos y bacteriológicos. Se tomaron distintas muestras y se encontró que algunas de ellas eran no potables. El análisis bacteriológico del agua de las zanjas por ejemplo indicó la presencia de bacterias coliformes fecales y de líquidos cloacales. En este punto es donde el equipo de trabajo identificó un problema relevante y destinó esfuerzos para atacarlo. Además de la campaña de difusión sobre cómo utilizar el agua disponible, se desarrolló la propuesta de materializar un humedal, un lugar en el cual filtrar el agua de uso domiciliario antes de tirarlo en la zanja. Pasa a través de un sistema de estaciones, donde se limpia el agua de jabones, detergentes, etc., utilizando filtros mecánicos y químicos para finalmente disponerlos.



1 Tubos del calentador solar

Entre los rasgos comunes se identifica el aspecto sustentable, como a partir del trabajo colectivo puede humanizarse el uso de los recursos[6]. Originalmente remite a una distinción primitiva entre el ser humano y el resto de los animales, que explotaban de manera rapaz los recursos naturales. No es tecnológicamente viable la explotación indiscriminada de los recursos, no es algo natural de nuestra especie sino que obedece a propiedades intrínsecas de un sistema capitalista con un desarrollo agresivo. El ser humano pertenece a la naturaleza

[5] Soto, L., Valinoti, S., Cioffi, J., Branne, J., Jaca Pozzi, G., Bonoldi, J., ... & Angheben, E. (2019). ConstruIRAS: instalaciones replicables alternativas sostenibles: un proyecto de extensión en el barrio Romero Campo. In *V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería (La Plata, 2019)*.

[6] Engels, F. (1978). *El papel del trabajo en la transformación del mono en hombre*. Editorial Progreso.

y las transformaciones que sobre ella opera siempre tienen consecuencia, por lo tanto utilizar la ciencia para consolidar esta concepción entrega resultados sustentables.

Otro aspecto refiere a la replicabilidad, en tanto las propuestas son de inmediata multiplicación en función de la participación vecinal.

Se evidencia también la importancia de la coordinación desde abajo[7]: este tipo de actividades no sería posible sin la coordinación del barrio y la universidad. Se identifica un enorme potencial en cuánto a las posibles vinculaciones en el territorio, cada uno con su capital (económico, cultural, ambiental, etc) para generar un producto con valor agregado equitativamente y sustentable. La participación de la universidad representa el apoyo estatal para su desarrollo, asistiendo en el fortalecimiento de organizaciones que trasciendan la generación de ganancias exclusivamente y valoren el trabajo como principal medio de realización humana.

Por último, la participación activa de los beneficiarios reconoce el desarrollo de las políticas públicas un sentido de doble vía[8]. O sea, estas intervenciones son producto de deliberaciones que ocurren en diálogo entre actores universitarios (podemos situarlos dentro del esquema del estado) y no universitarios y que concluyen con el diseño de un plan particular para uno o más problemas particulares. De nuevo se puede graficar con esto un esquema de interacción en forma de redes entre el estado y territorio (entendido este no solo en términos geográficos sino también en términos de procesos y relaciones sociales que se dan en determinado contexto).

El problema de la vivienda en argentina

Conviene arrancar poniendo en relieve la magnitud del problema que se pretende abordar: Existen en la provincia de Buenos Aires 1000 asentamientos en los que viven familias utilizando solamente 32 m^2. En la región 200.000 personas (25% de la población) viven en 260 asentamientos[9], que en su mayoría no cuentan con acceso a cloacas, red eléctrica y de gas. Según la EPH que publica el INDEC, a fines del 2020 la pobreza alcanzó al 42% de la población.

En virtud de esta situación, un grupo de docentes, estudiantes y graduados de ingeniería en conjunto con el Astillero Río Santiago, desarrolla un sistema para fabricar casas de manera rápida y práctica. Se constituye de un pórtico a partir de chapas plegadas y soldadas, de 10 metros de trocha (ancho) y 4.5 metros de altura. Cuenta con una Unidad de control automático, para los desplazamientos y el caudal de mezcla.

Cuenta con un cabezal que va dosificando la mezcla, siendo este el problema más complejo a resolver. El sistema va construyendo el edificio mediante capas de hormigón. Después de los muros se monta el techo en base a perfiles galvanizados con chapa y aislante térmico y cielo raso convencional. Por último, se instalan pisos, servicios básicos y aberturas. La mezcla

[7] Fornessi, R., & Adriani, H. L. (2016). Aproximaciones a la propuesta política para una Economía Social y Solidaria: la coordinación. In *IX Jornadas de Sociología de la UNLP 5 al 7 de diciembre de 2016 Ensenada, Argentina*. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Sociología.

[8] BONICATTO, María. *Doble vía*. 2019. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Pp 53

[9] Informe del observatorio socioeconómico social UCALP, Mayo 2021.

utilizada es autoportante, y tiene otras propiedades mecánicas que facilitan la aplicación (extrudable, imprimible, etc).



2 Pórtico y cabezal de aplicación

Claramente estamos frente a un método que podría resolver la construcción de barrios urbanos a escalas considerables y en tiempos acotados y acordes a la situación habitacional de nuestro país.

En la implementación de este proyecto se destaca en primer lugar con que aliados cuenta la universidad y que sectores son los que necesitan de la universidad, de los conocimientos que se producen allí para resolver necesidades básicas. La crisis de legitimidad que atraviesan las instituciones universitarias va a ser resuelta en parte por la coordinación en este tipo de actividades. Claro que pretendemos resolverla para legitimarnos ante determinados sectores sociales y productivos. El desarrollo de un modelo industrial va a demandar por parte de las empresas la asistencia de la universidad.

También atiende a ciertas señales sociales para poder identificar qué temas son prioritarios, lo cual le atribuye relevancia al proyecto. Esto tiene una relación bidireccional, siendo que por un lado orientamos nuestro trabajo hacia eso, y por el otro contribuye a la legitimación de la institución. Obviamente que esto no es estático y que se encuentra en disputa, pero es un ejemplo de que la jerarquización del saber por sí mismo, las restricciones al acceso de las clases populares y las exigencias no resueltas de democratización y accesibilidad hacen que la institución no encuentre resonancia de sus problemas

Por último, da cuenta de un esquema de trabajo multidisciplinario para aportar soluciones. Naturalmente tendemos a segmentar o etiquetar los problemas cuando en la realidad se encuentran atravesados por aspectos multidisciplinares (a decir de Dagnino, sería muy fácil si cada problema apareciera con una etiqueta de la disciplina a la que pertenece entonces lo canalizamos a la facultad y departamento que corresponda). En este caso se aborda un problema eminentemente social, que demanda aportes técnicos y tecnológicos (arquitectura, ingeniería) pero situados en un contexto que los determina (sociología, economía, etc.).

CONCLUSIONES

Entendemos a la extensión como un campo en el que tenemos la posibilidad de generar instrumentos para la planificación de la política pública. En este sentido es interesante

recuperar la idea de doble vía ya que incluye la posibilidad de que en el diseño de esos instrumentos participen tanto los niveles de gestión estatal y los beneficiarios.

Para esto es fundamental reconocer las señales y reclamos que vienen de la sociedad. El desarrollo de una universidad con anclaje en la región es importantísimo para este fin. Nos permite detectar problemas y disponernos para tal fin. En eso son importantes los dispositivos con los que cuenta la UNLP y la adaptación en la estructura de gestión que ha venido implementando en la última década.

Y para la construcción de la agenda es clave este reconocimiento. Es decir, tomar las problemáticas detectadas por organismos y organizaciones para diseñar la dirección de nuestras actividades. Conocerlos y contribuir con el conocimiento para resolverlos. También generar líneas de investigación hacia afuera, pensando en atacar esas problemáticas de manera multidisciplinar.

Los ejemplos citados tienen todavía mucho potencial por desarrollar, sobre todo en el aspecto de la apropiación de los métodos y resultados. Es incipiente su desarrollo, en los términos ideales que se plantean a lo largo del documento, pero todo proceso de transformación tiene su inicio (que es lo más difícil) y se encuentra en tránsito. Resulta imperativo jerarquizar estas propuestas, que desde el llano trazan el sendero que articula las necesidades con la organización para resolverlas.

La Universidad forma parte de la estructura del estado y por lo tanto todas sus acciones se encuentran reguladas por los intereses de este. Las transformaciones que entendemos necesarias en las instituciones van acompañadas de cambios estructurales más profundos, que son por los que necesitamos pelear día a día.

Bibliografía

1) https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Europe_2020_indicators_-_R%26D_and_innovation&oldid=345979
2) http://data.uis.unesco.org/Index.aspx?DataSetCode=SCN_DS&lang=en#
3) Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación: Argentina Innovadora 2020
4) https://blogs.imf.org/2021/03/31/working-out-the-differences-labor-policies-for-a-fairer-recovery/
5) Soto, L., Valinoti, S., Cioffi, J., Branne, J., Jaca Pozzi, G., Bonoldi, J., ... & Angheben, E. (2019). ConstruIRAS: instalaciones replicables alternativas sostenibles: un proyecto de extensión en el barrio Romero Campo. In *V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería (La Plata, 2019)*.
6) Engels, F. (1978). El papel del trabajo en la transformación del mono en hombre. Editorial Progreso.
7) Fornessi, R., & Adriani, H. L. (2016). Aproximaciones a la propuesta política para una Economía Social y Solidaria: la coordinación. In IX Jornadas de Sociología de la UNLP 5 al 7 de diciembre de 2016 Ensenada, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Sociología.
8) BONICATTO, María. Doble vía. 2019. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
9) Observatorio Socioeconómico UCALP. Indicador de integración y desarrollo, Mayo 2021.

ARTICULANDO MATE(RIALES) A

Cozzarín, Ana L.[1]; Trípoli, María M.[2], Feloy, Lucas[1]

[1] Unidad de Investigación ProInTec I&D - Cátedra Materiales - Departamento de Mecánica – Facultad de Ingeniería – UNLP - 1 y 47, La Plata – Bs As. - Argentina
[2] Unidad de Investigación en Metodologías alternativas para la enseñanza de las ciencias - UIDET IMApEC – Cátedra Matemática A - Departamento de Ciencias Básicas – Facultad de Ingeniería – UNLP - 1 y 47, La Plata – Bs As. - Argentina
acozzarin@ing.unlp.edu.ar, mercedes.tripoli@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: articulación, integración, ecuación de la recta, deformación elástica

Introducción

Charlas de pasillo fueron el inicio de reuniones más formales que convergieron en la realización de la actividad áulica que relatamos en este trabajo. Nuestra experiencia como docentes y la participación en formaciones pedagógicas de las docentes involucradas en la actividad propuesta, motivó la necesidad de buscar algunas alternativas, ante repetidas dificultades que observábamos en nuestros estudiantes. Por un lado, la falta de motivación en el estudio de la matemática, siendo esta disciplina una herramienta indispensable en la formación del ingeniero, y por el otro, el hecho de que las y los alumnos presenten dificultades al momento de recuperar, en otras asignaturas no de ciencias básicas, los conceptos estudiados en matemática.

Lo anteriormente expuesto nos hizo pensar en la necesidad de fomentar la articulación entre materias del primer y del segundo año (específicamente, una materia de ciencias básicas con otra de las tecnológicas básicas del departamento de mecánica). La propuesta que realizamos se basa en dos principios del aprendizaje que se consideran básicos (Zabalza, 2010): el primero indica que el aprendizaje mejora si los alumnos son capaces de establecer redes (conceptuales, operativas, funcionales, etc.); es decir, si aprenden relacionando unas con otras. El segundo principio indica que el aprendizaje mejora si las y los alumnos son capaces de dar sentido a las cosas que estudian; es decir, si saben (porque se lo decimos o sugerimos) para qué sirve o a qué se aplica lo que están aprendiendo.

Uno de los problemas fundamentales de los currículos es que provocan aprendizajes que se estructuran en campos similares a aquellos desde los que se ha tomado contacto con ellos. En los modelos disciplinares, los estudiantes tienden a organizar sus conocimientos por disciplinas (a veces en sub-disciplinas, si han sido varios los profesores que han participado en su desarrollo, cada uno de ellos generando su propio y diferente campo informativo y de prácticas), en archivos separados unos de otros. Es importante enseñar de forma que el primero de los principios mencionados se cumpla: plantear las cosas relacionándolas unas con otras, hacer visibles las conexiones, de todo tipo, existentes entre unos contenidos y otros. Si se hace así, la natural tendencia centrípeta de contenidos y actividades se diluye y se va abriendo espacio a la posibilidad de transferir conocimientos y destrezas de unos campos a otros.

Los y las estudiantes no tienen la clave para efectuar todas las relaciones por sí mismos y, a veces, les resulta difícil establecer conexiones entre ciencias básicas y actividades profesionales. La articulación curricular colabora, entre otras cosas, en hacer visibles los nexos entre conocimientos generales y especializados.

Cuando enseñamos asignaturas totalmente independientes, estos caminos no están trazados, al alumno (o alumna) se le dificulta recorrerlos solos, es como si estuviera en un

mar sin brújula. Entonces los o las docente tienen que comenzar por construir la relación entre el conocimiento nuevo y lo ya sabido, aunque es mejor que sea el conjunto de (las y) los profesores el que la construya (Camilloni, 2001).

Dar clases representa un acto apasionado (Piaget) a modo de donación, de entrega generosa (Berisso, 2015). No pretende un retorno objetivable, sino que consiste en una entrega que apunta a movilizar al otro a que abra su propia perspectiva. ¡¡La práctica de enseñanza no es azarosa, es intencional! Y nuestra intencionalidad, que se relata en el presente trabajo, fue la realización de una experiencia de articulación que se llevó a cabo en una comisión de Matemática A con docentes de la cátedra de Materiales del Área Departamental Mecánica, durante el primer semestre del corriente año. El objetivo general inicial fue motivar a los estudiantes en el uso de la matemática, destacando su importancia como una herramienta necesaria en la formación del ingeniero, mostrando una aplicación de la misma. En particular, nos propusimos relacionar la ecuación de la recta (desde la matemática) con la ley de Hooke (desde materiales), presentar un ejemplo de función a trozos (deformación elástica más plástica) y articular lenguajes, notaciones (simbología) y escritura de distintas disciplinas, y trabajar sobre interpretación de diagramas/gráficos. Se considera necesario brindarles actividades que acerquen al estudiante, en la medida que los conocimientos de matemática lo permitan, a aplicaciones concretas que encontrarán durante su carrera (Trípoli, Torroba, Devece y Aquilano, 2019).

Desarrollo de la experiencia

Contando con una experiencia que nos resultó satisfactoria de una prueba piloto desarrollada en el aula de Matemática A en el año 2018 decidimos realizar la actividad de articulación en modalidad virtual. La propuesta se realizó en una de las comisiones de Matemática A en el primer semestre del año en curso. El diseño de la misma contempló dos etapas: 1) realización de una clase (no obligatoria) que se realizó en forma virtual en la plataforma Meet, y 2) realización de un ejercicio en forma grupal por parte de los estudiantes luego del encuentro mencionado. Se contó con la participación de docentes de la Cátedra de Materiales, las docentes de la comisión de Matemática A involucrada en esta experiencia y prácticamente la totalidad de los alumnos inscriptos en dicha comisión.

Previamente a la actividad concreta se realizaron reuniones entre docentes de ambas cátedras para el armado de la propuesta pedagógica. Se realizó una invitación formal a los y las estudiantes para que estuvieran al tanto de que ese día a esa hora iba a haber una actividad especial en la comisión.

Se eligió el tema de la deformación elástica y plástica de los materiales dado que, por un lado puede visualizarse la gráfica de una función a trozos como modelización de una situación concreta (tipo de funciones que los y las alumnas estudian en Matemática A), y además, por la vinculación que tiene la deformación elástica con la Ley de Hooke y por lo tanto, con la ecuación de una recta (concepto que los y las alumnas ya estudiaron en la escuela media, volvieron a ver en Matemática para Ingeniería y repasan en Matemática A como la gráfica de un función lineal). No es el objetivo comprender los aspectos teóricos del tema elegido, ya que los mismos se formalizarán oportunamente, sino brindar algunas herramientas para que el estudiante pueda hacer una comprensión intuitiva del tema. A su vez, observar cómo “la recta”, un concepto matemático que podríamos decir básico por ser estudiado en la escuela media, es un vehículo para el estudio de la deformación elástica de los materiales.

En cuanto a la clase realizada por Meet, un docente de Materiales realizó una explicación de los conceptos técnicos apoyado en una presentación compartida a través de la plataforma y con el apoyo de elementos que los y las estudiantes pudieran tener en su casa para realizar experiencias físicas. Concretamente se les pidió que tuviesen para el encuentro un cuchillo y

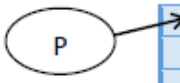
una cuchara (al menos, que en una parte, sean metálicos), dos elementos de similar composición que presentan comportamientos mecánicos marcadamente diferentes y cuya deformación se utilizó para representar los comportamientos explicados. A su vez, y para no perder la interdisciplinaridad, estuvieron presentes docentes de ambas cátedras, que intervinieron cuando lo consideraron oportuno para generar mayor cohesión entre conocimientos.



Figura 2. Momento de la clase en donde se observa la pantalla compartida

Una vez finalizada la exposición y cuando ya ningún participante tenía nada que decir en el encuentro, se invitó a los alumnos y alumnas a que realizaran una encuesta en forma individual, luego de que finalice la clase, mediante un formulario de Google. Si alguien no la quería responder en el momento, contaba con dos días para hacerla.

Se quiere realizar un trabajo utilizando acero IRAM-IAS 1040 normalizado. Para ello es necesario conocer su rigidez, con el objetivo de saber si dicho material es el apropiado para realizar el trabajo. En este caso se necesita una rigidez que varíe entre 200000 y 203000 MPa (o lo que es lo mismo N/mm²). Conocer la rigidez del material, equivale a conocer el módulo elástico del mismo, que es la constante de proporcionalidad entre la tensión y la deformación del material. Para ello se realizó un ensayo de tracción: se cuenta con material para hacer una probeta de 10 mm de diámetro y al ensayarlo se utiliza una longitud de referencia de 25 mm, obteniendo los valores de la tabla de abajo, de los cuales una parte corresponde a la deformación elástica y otra a la deformación plástica. Considerar que a carga cero, no hay alargamiento.



Carga (N)	Alargamiento (mm)
30000	0,0474
60000	0,0948
120000	0,2685
180000	0,6583

Respondan los siguientes interrogantes, justificando los mismos:

1. *¿Cuáles datos pueden utilizar para determinar el módulo elástico?*
2. *¿Cuál es el valor del módulo elástico? Expresen correctamente las unidades.*
3. *De acuerdo a la tabla, ¿hasta qué valor de la carga pueden asegurar que se encuentra dentro de la región de deformación elástica?*
4. *De acuerdo a los datos tomados en la tabla, ¿pueden conocer el límite de deformación elástica?*
5. *¿Cuál es el alargamiento si la carga es de 50000 N?*
6. *De acuerdo al valor del módulo elástico, ¿el material seleccionado tiene la rigidez apropiada para el realizar el trabajo?*

Figura 3. Ejercicio que se propuso a las y los estudiantes para ser resuelto en forma grupal

Con respecto al ejercicio que se les compartió para que lo resuelvan en forma grupal, tuvieron diez días como plazo para entregarlo. El ejercicio elegido es uno que se adaptó de una de las prácticas de la asignatura Materiales (Figura 3). En el documento entregado con la consigna del ejercicio, se recordaron algunos conceptos que fueron mencionados en la clase, con el objetivo de colaborar con los y las estudiantes en su resolución. Al hacerles la devolución del ejercicio, se les solicitó contestar otra encuesta, referida puntualmente al mismo.

Resultados

En cuanto a la encuesta voluntaria realizada con respecto a la clase, la respondieron 40 de los 58 estudiantes inscriptos en la comisión, el 72,5% manifestó haber seguido la charla. Los restantes alumnos y alumnas, en general, comentaron haber tenido problemas con la conexión a internet y a alguien le pareció un poco difícil de seguir. A la totalidad, les pareció útil el tema elegido, en palabras de un estudiante "s*e vieron claros los ejemplos con los cubiertos acompañados con la teoría que presentaron, y con respecto al gráfico, se notaba la presencia de las matemáticas aplicadas en como este de la vida cotidiana*".

Todos los y las estudiantes manifestaron que les parece importante que se brinden charlas o se realicen actividades en Matemática A en las que puedan vincular la matemática con contenidos de otras asignaturas más específicas de su carrera. Todos justificaron su respuesta. Por mencionar algunas de ellas: *"me parece importante porque, en cierta forma, calma un poco la ansiedad de conocer cómo se relacionan las matemáticas con la carrera que elegí, ingeniería en materiales", "me parece importante para darle "un sentido" a lo que vemos en matemáticas A".*

En cuanto al ejercicio, la resolución del mismo, fue correcta por parte de los ocho grupos en los que se dividieron. Lo que notamos es que, en general, les faltó fundamentar sus respuestas, cuando la pregunta hacía referencia a una decisión que debían tomar o no mostraron todas las operaciones matemáticas que hicieron, sino solamente mostraron algunas de las cuentas dando la respuesta directamente. Esto es algo que se observa normalmente en las resoluciones que presentan los y las estudiantes durante su paso por Matemática A, es decir, que no es algo particular por el tema tratado. En la Figura 4 se muestran dos resoluciones, a modo de ejemplo.

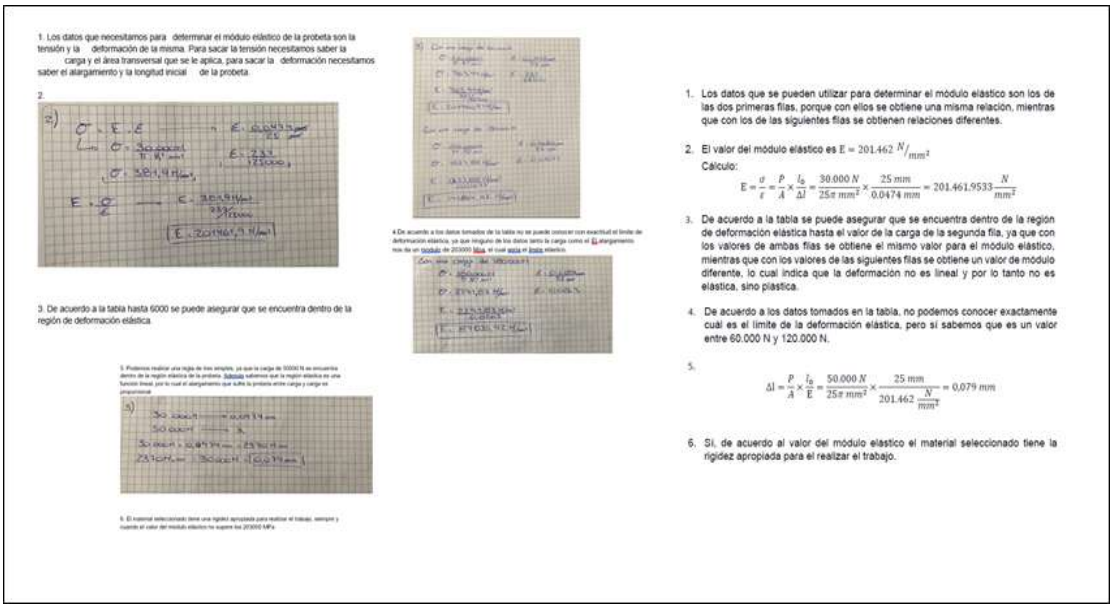


Figura 4. Ejemplos presentados por los estudiantes

La encuesta referida a la resolución del ejercicio, la contestaron seis de estos grupos. Con respecto al nivel de dificultad del ejercicio propuesto, un grupo manifestó que la dificultad fue alta y los demás que fue media. Podemos resumir lo manifestado por los y las alumnas, con la siguiente mención realizada por uno de los grupos: "*nos resultó un poco difícil ya que aplicamos lo visto en matemática en un tema el cual nunca habíamos visto (deformación elástica/plástica, módulo elástico, etc.)".* La mitad de los grupos de alumnos y alumnas dijeron que les alcanzó con lo que el docente de Materiales contó en la clase y la mitad restante manifestó que recurrieron a algunos documentos que los ayudó en la resolución, justificando esta búsqueda por no acordarse todo lo que el docente había contado.

Con respecto a si la notación utilizada en la exposición y en el ejercicio propuesto pudieron relacionarla con la utilizada en matemática y, por lo tanto, con los conceptos matemáticos involucrados, cinco de los grupos dijeron no haber tenido dificultad. Mencionaron que, el hecho que en la clase los docentes de ambas disciplinas hayan hecho hincapié en la diferencia en las notaciones y lenguajes les facilitó el entendimiento.

En la Figura 5, se muestran las justificaciones que escribieron algunos grupos que manifestaron que el ejercicio colaboró con la vinculación de los temas propuestos. El grupo restante no argumentó su respuesta. También se muestran las argumentaciones que hicieron los seis grupos al coincidir en el hecho de que la propuesta de resolver el ejercicio en forma grupal, los ayudó en su resolución.

Respuestas con respecto si el ejercicio colaboró con la vinculación de los temas	Respuestas con respecto si el hecho de resolver el ejercicio en forma grupal, los ayudó a resolverlo
La ejercitación ayudo a complementar la explicación dada en la clase. Hizo que lleváramos lo teórico a lo practico.	Creemos que ayudo ya que algunos compañeros no sabían como aplicar lo explicado y nos ayudamos entre todos.
Hizo que nos demos cuenta de que no es difícil tener que aplicar los temas de matemática y materiales.	En el intercambio de ideas surgieron muchos puntos de vista y de a poco fuimos llegando a un resultado en común, para lo cual nos tuvimos que convencer mutuamente.
Creo que nos ayudó a comprender del todo lo que hablamos con el profesor sobre la deformación, y a su vez, creo que sirve que apliquemos los conocimientos que aprendemos en las ciencias básicas, así mas o menos uno toma dimensión sobre lo fundamentales que son.	La puesta en común de opiniones y el debate grupal ayudó mucho en la resolución del ejercicio propuesto
Nos ayudó a terminar de entender la situación	En algunos momentos hacíamos cosas por nuestra cuenta pero estábamos de acuerdo en el concepto y pudimos resolverlo
Con la exposición pudimos entender la relación de los temas involucrados de las dos áreas, pero nunca viene mal hacer ejercicios y trabajar ya que refuerza las ideas y quizás queda todo más claro.	Hacerlo en grupo ayudo, ya que no fue una tarea tan sencilla. Entonces esta bueno pensar con tus compañeros, ya que cada uno puede aportar algo distinto y por ende resulta más fácil resolver la actividad.
	Si discutir y hacerlo en grupo es micho mejor porque tenemos ideas en comunes y no, por lo tanto podemos darnos cuenta de cosas que otro no, y así llegar a resolver el ejercicio.

Figura 5. Argumentaciones de los estudiantes sobre preguntas relacionadas al ejercicio propuesto

Conclusión

Intentar realizar actividades de integración entre diversas materias es el desafío de transitar de una docencia que toma como unidad docente a cada profesor individual a otra en la que esas unidades docentes se amplían para integrar en ellas a todo el colectivo de docentes que trabajan las carreras de ingeniería.

Con esta propuesta nuestro objetivo fue motivar a los estudiantes en el aprendizaje de la matemática y además, que pudieran reconocer la importancia de la matemática como una herramienta necesaria en su formación como ingenieros. Para ello, se vincularon la deformación elástica por su relación con ley de Hooke y por ende, con la ecuaciòn de una recta. A su vez, mostramos un ejemplo concreto de función a trozos (deformación elástica y plástica). Vinculamos las diversas notaciones y lenguajes utilizados en las distintas áreas disciplinares y también, trabajamos las unidades de medida, muchas veces relegadas en las clases de matemática.

Consideramos que pudimos cumplir el objetivo propuesto. En general, siempre que se realizan este tipo de actividades, la gran mayoría de los estudiantes lo consideran positivo y, en este caso, también resultó ser así de acuerdo a lo manifestado por ellos. Sin embargo, como en toda experiencia (áulica), debemos hacer un análisis más profundo para poder mejorar la propuesta.

Nos proponemos seguir trabajando tanto en la actual propuesta, como pensar en otras que puedan desarrollarse en las materias de ciencias básicas para favorecer el aprendizaje de las mismas, ya que el este mejora si los alumnos y alumnas son capaces de dar sentido a las cosas que estudian Asimismo, esperamos que esta experiencia motive a otros docentes de asignaturas de ciencias básicas y de tecnológicas básicas, a dialogar y encontrar esas conexiones implícitas entre las distintas materias y diseñar propuestas para colaborar con los estudiantes en su formación universitaria.

Agradecimientos

Agradecemos el aporte y la colaboración de ambos equipos docentes del cual somos parte, en especial a la Prof. Bárbara Zorba, a la Srita. Dolores Corva, a la Lic. María Fernanda Bertero, al Ing. Fernando Ruiz Diaz y al Ing. Juan Lacoste que gracias a los intercambios con nosotros nos han ayudado a reflexionar sobre la actividad realizada y serán protagonistas en las próximas que desarrollemos.

Bibliografía

- Camilloni, A. (2001). *Aportes para un cambio curricular* en Argentina 2001. Secretaría de Asuntos académicos, UBA. I.S.B.N. 950-710-071-7
- Berisso, Daniel (2015). *¿Qué clase de dar es dar clase?.* Editorial Antropofagia.
- Cozzarín, A., Lopardo, E.; Saralegui, G.; Tovio, D.; González, A. (2008) “El desafìo de adaptar los contenidos” VI Jornadas de CAEDI. 17 – 19 de Septiembre de 2008, Salta. ISBN 978-987-633-011-4
- Fernández Lamarra, N., Aiello M., Álvarez, M., Fernández, L., García, P., Grandoli, M. E., Ickowicz. M., Paoloni, P. y Perez Centeno, C. (2015). La innovación en las Universidades Nacionales. Aspectos endógenos que inciden en su surgimiento y desarrollo. Universidad Nacional de Tres de Febrero/ Provincia de Buenos Aires / Argentina Prólogo, Introducción y Partes I y IV.
- Trípoli, M. M., Torroba, P. L., Devece, E. y Aquilano, L. (2019). Funciones trigonométricas, periódicas y oscilatorias: una propuesta de trabajo interdisciplinario. En *V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería*. La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Zabalza, M.A. (2012). Articulación y rediseño curricular: el eterno desafío institucional. R*evista de Docencia Universitaria*. *REDU*. Vol. 10 (3) Octubre-Diciembre, pp. 17-48 http://www.red-u.net/

UN AÑO DE PANDEMIA VS UNO PRESENCIAL. UNA EXPERIENCIA PERSONAL EN QUIMICA PARA INGENIERIA

Tocci Ana M.[1] y Fertitta Abel E.[2,3]
[1]Facultad de Ingeniería. FI-UNLP
[2] Facultad de Ciencias Exactas UNLP,
[3] Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Bs.As. CIC
anamaria.tocci@ing.unlp.edu.ar fertitta@inifta.unlp.edu.ar

Palabras Claves: presencialidad, virtualidad, resultados académicos

1.- Introducción

El aislamiento producido por la pandemia modificó la vida social, laboral y humana de todo el mundo. “La interrupción del proceso de enseñanza-aprendizaje en la forma en que la ejercíamos, impone al menos tres desafíos: el acceso a las plataformas digitales y condiciones materiales para el aprendizaje; la capacidad de las familias para la enseñanza a distancia o desde el hogar; y la efectividad del entorno virtual para favorecer el aprendizaje” (Failache, et al. 2020). Además, deberíamos considerar también cuánto afecta la nueva situación al aspecto psicosocial de los individuos involucrados en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, cada uno debió adecuarse a las circunstancias como mejor podía, en el caso de la educación, los escenarios virtuales tomaron una importancia relevante.

Los docentes tuvieron que adecuarse rápidamente al uso y traslado de su formato de enseñanza presencial al formato de enseñanza virtual. Como asegura Tauber (2020), son modos tecnológicos que nuestra Universidad ha tomado hasta ahora muy lateralmente, y han llegado para quedarse de forma definitiva; no porque vayan a sustituir la educación presencial, sino que vuelto a la normalidad seguramente van a tener una fuerte participación complementaria, eso es una fortaleza que no debemos perder.

La realización de una cátedra en función de las TIC`s (tecnologías de información y comunicación) no es meramente un traslado de lo presencial a lo virtual. Se necesita una modificación del tipo de enseñanza basado en aprender de una manera investigativa y constructiva basándose en conocimientos previos para la adquisición de nuevos saberes. La pandemia, irrumpe de manera impetuosa, revelando una verdad: es necesario un profundo cambio basado en las nuevas tecnologías del aprendizaje y la comunicación. El problema central, es que la escuela y la universidad no están preparadas para el uso de los nuevos recursos tecnológicos (Porlán,2020). El manejo del espacio virtual en el proceso de enseñanza y aprendizaje exige transformaciones en la forma de ser, de pensar y de actuar de los sujetos involucrados; conlleva nuevas formas de enseñar y de aprender. El proceso de aprendizaje en tiempos de pandemia es un proceso de ensayo-error, sus resultados serán evidentes en el futuro (Aguilar Gordon, 2020). Vale la pena aclarar que, en base a las definiciones de Porlán y Aguilar Gordon previamente explicadas, somos concientes que nuestro paso a la virtualidad dista de lo que es esta concepción del modelo de las tecnologías de la información y comunicación.

Realizar el traslado de la enseñanza nos obligó a tener en cuenta varios aspectos (Fardoun, et.al. 2020):
a) *Las herramientas de comunicación*. Se refiere a la plataforma tecnológica que se utiliza para poder soportar los procesos de enseñanza-aprendizaje.
b) *Contenidos y materiales*: documentación que se va a enviar/recibir y que va a permitir apoyar los procesos de enseñanza-aprendizaje, así como al formato de estos.
c) *Herramientas de seguimiento y control*: plan que permita especificar la forma de dar retroalimentación acorde al trabajo que están realizando los estudiantes.

d) *Mecanismo de evaluaciones*: se debe contar con mecanismos apropiados, que permitan tener certeza de la veracidad de las respuestas por parte de los estudiantes. En muchos casos no resulta fácil poder hacer un seguimiento en este ítem.

En el desarrollo que sigue se hace referencia exclusivamente a la experiencia de los autores del presente trabajo en su tarea docente llevada a cabo en una materia de primer año de la facultad de Ingeniería de UNLP; sobre una población de 200 estudiantes por año siendo la totalidad de alumnos de la cátedra de aproximadamente 1500 en el año.

2.- Desarrollo y Discusión

2-a) Pasando de la presencialidad a la virtualidad

La materia en que desempeñamos nuestra tarea docente, Química, es del primer cuatrimestre de la carrera. Esto conlleva varios problemas: el hecho de que los alumnos no están familiarizados con la metodología de trabajo habitual en la universidad, la diversidad de conocimientos adquiridos previamente por los alumnos en el sistema medio, la ausencia de la materia en los cursos de apoyo para ingresantes, los tiempos acotados para el desarrollo de los temas, etc. A todo eso debemos sumarle como problemática el traslado a la virtualidad que ocasionó la pandemia por el Covid 19. Apenas comenzado el año lectivo 2020, y luego de solo dos semanas de trabajo en presencialidad.

Eso nos enfrentó a los siguientes problemas:
1) No teníamos los datos completos de todos los alumnos para poder comunicarnos con ellos, dado que aún no se había finalizado la inscripción,
2) No todos los docentes sabían trabajar con alguna herramienta de uso en educación a distancia, y si habían tenido alguna experiencia, la misma ya estaba obsoleta debido al abrupto avance de la tecnología en esta rama.
3) El desafío era cómo trasladar las clases presenciales (teoría y seminarios de problemas) a la virtualidad. y además suplir de alguna forma los trabajos de laboratorio que, en la presencialidad, ya eran obligatorios.
4) Adecuar las formas de evaluación a un escenario virtual.

Hasta tanto logramos ir solucionando los problemas enumerados pasaron al menos 15 días desde la interrupción de las clases presenciales, lo cual llevó a que el primer semestre de 2020 se extendiera en el tiempo y el siguiente comenzará más tarde.

El primer paso fue necesariamente la unificación de pautas de trabajo entre los docentes de la cátedra sobre cuestiones mínimas acerca de cómo continuar el dictado de la materia. Si bien la misma está unificada en cuanto a criterios generales de evaluación y currículo; cada comisión tiene la libertad de elegir la metodología que considera más apropiada de acuerdo con su forma de llevar a cabo el proceso de enseñanza, para impartir el temario abarcado. Se dejó de lado la reglamentación vigente en la presencialidad y las autoridades de la facultad nos dieron libertad para realizar los cambios que creyéramos convenientes para poder continuar con las tareas docentes *siempre priorizando la continuidad del alumno en la cursada de la materia*.

Una vez conocidos estos problemas comenzamos solicitando a los sistemas informáticos de la facultad la información que podía faltarnos sobre los alumnos para restablecer nuestro contacto con ellos.

El siguiente desafío fue elegir el lugar (que actúe como aula) de encuentro que nos permitiera seguir llevando las clases adelante. Luego de informarnos sobre los distintos canales de comunicación sincrónica ofrecidas de manera libre (Meet de Google, Jitsi, BBB) y las ofrecidas por la universidad (Zoom, Webex); elegimos la que nos resultó más versátil y fácil de usar

como la Jitsi Meet. En cuanto al dictado de las clases teóricas creímos conveniente grabarlas y ponerlas a disposición de los alumnos antes de la fecha correspondiente al tema según el cronograma, para favorecer la asimilación de los conocimientos requeridos. En consecuencia, se redistribuyó el uso del tiempo asignado a la clase dejando la mayor parte de este destinado a la explicación de problemas tipo, consulta de dudas y resolución de seminarios.

Como canal de comunicación asincrónica elegimos la plataforma Moodle, mediante la cual les hacemos llegar a los alumnos toda la información necesaria (como cronogramas, enlaces a las clases de youtube, seminarios, laboratorios, foros de consulta, etc), la cual nos permite presentarles variadas herramientas para el desarrollo del curso. Para subsanar la ausencia del trabajo de laboratorio se hizo una búsqueda de videos similares a los realizados en la presencialidad, y se complementó las guías de laboratorio con los enlaces a esos videos, fotos ilustrativas de los materiales utilizados y una explicación detallada de los objetivos, la labor que se realiza y las conclusiones de cada trabajo de laboratorio.

2-b) Encuestas en la virtualidad

Al iniciar las actividades virtuales confeccionamos una Encuesta de Conectividad que sirvió para saber si los alumnos aceptaban y estaban en condiciones de realizar el curso con esta modalidad. “La consigna es incluir a todo el estudiantado, no dejando ningún estudiante excluido/a o que se vea obligado/a a perder su año académico por estos motivos” (Fardoun et al, 2020). En la Tabla 1 se muestran los principales resultados de dicha encuesta. Los mismos corresponden a cuatro comisiones del año 2020 y dos comisiones del año 2021:

¿Tiene conectividad para trabajar virtualmente?		¿Está decidido a continuar trabajando en forma virtual?		¿Qué instrumento dispone para realizar las actividades?	
Si	No	Si	No	Computadora	Teléfono
95%	5%	98%	2%	85%	15%

Tabla 1: respuestas de los alumnos a la encuesta sobre conectividad

Estos resultados muestran que en una primera instancia los alumnos tienen una buena disposición para iniciar el proceso de aprendizaje en forma virtual.

En el marco de la reestructuración general, las evaluaciones son un punto problemático e importante. Debimos cambiar radicalmente la forma de evaluar y de entregar la devolución de las mismas. Esto incluyó también la evaluación de los trabajos de laboratorio los cuales al ser obligatorios deben ser aprobados por el alumno. Dichas evaluaciones se realizaron mediante formularios de Google, en la plataforma y con cámara encendida. Ante la incertidumbre de la veracidad de las respuestas se decidió establecer un coloquio oral al final del semestre para dar al alumno la posibilidad de promocionar la materia o de aprobar mediante examen final.

Estando en el tercer semestre de experiencia virtual de la materia, hicimos llegar a los alumnos actuales (abril del 2021) una encuesta que permita tener su opinión acerca de algunos aspectos que consideramos más relevantes. Por ejemplo, hemos notado que los egresados de la escuela media entre 2019 y 2020 corresponden al 77% del curso, lo cual implica que todos ellos tuvieron alguna experiencia de aprendizaje en la virtualidad. El resto cursó alguna vez en forma presencial por haber egresado en años anteriores a 2019.

Comprobamos que se trata de una población con elevada heterogeneidad en cuanto a la formación previa en la materia. El 71% tuvo 3 años o menos de Química, de los cuales el 32% tuvo solo 1 año. Se hace necesario al principio de la cursada intentar homogeneizar los conocimientos partiendo desde el nivel más básico. El 52% de los alumnos declara no haber participado nunca de alguna actividad experimental de laboratorio. Resulta evidente entonces que la mitad del curso deberá en años subsiguientes adquirir las destrezas y conocimientos que no pudo en la presente cursada al no poder realizar las prácticas de manera presencial.

Como consecuencia del aislamiento declarado oficialmente a causa de la pandemia se ve que, aunque la mayoría de los alumnos viven en La Plata y/o alrededores, un 30% respondió que continúa el curso desde sus lugares de origen, entre ellos la provincia de Buenos Aires, otras provincias argentinas, e incluso desde otro país. Cuando les preguntamos qué tipo de clase preferían: grabada u on line, el 75% optó por la clase grabada, justificando su elección (en palabras de los alumnos) diciendo que “nos da la opción de verla varias veces”, “llegar mejor a la consulta” y “manejar mis tiempos”. El resto (25%) eligieron la opción de clase on line justificando su elección porque “se nos hace más llevadera”, “podemos consultar lo que no entendemos en el momento” y “se siente la ausencia del docente”.

2-c) Comparación entre presencialidad/virtualidad

Dado que la situación debido a la pandemia ya lleva más de un año podemos realizar una comparación entre este año virtual y el último año presencial. En la Figura 1 se discriminan por semestres los años 2019 (presencial) y 2020 (virtual). La población analizada es similar en ambos años (183 alumnos en el 2019, y 202 alumnos en el 2020). Como resultado del curso de cada semestre, se muestran los porcentajes correspondientes a las cuatro categorías finales.

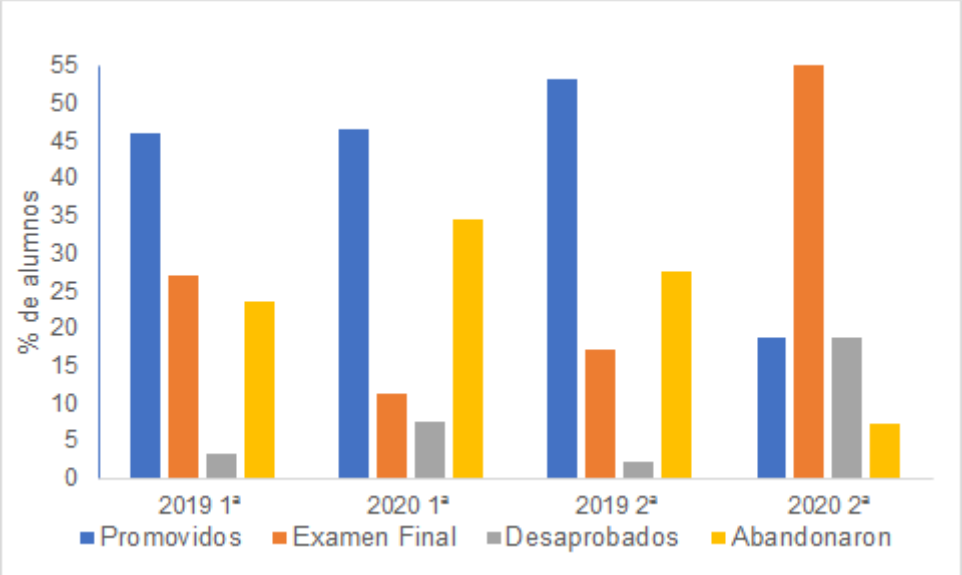


Figura 1: Comparación entre los diferentes semestres presenciales con los virtuales

En principio los dos primeros semestres parecen asemejarse, pero si bien el 1º semestre del 2020 empezó de manera presencial, al dictarse el aislamiento los alumnos buscaron la forma de continuar con el curso. Sin embargo, la variable de los que abandonaron creció, posiblemente por las dificultades para adecuarse a la virtualidad, con la implicancia correspondiente en la variable desaprobados, que aumentó; y la disminución de los que llegaron a examen final. Llamativamente el porcentaje de promovidos se mantuvo similar. En la comparación de los segundos semestres podemos considerar que, en el año 2020, ya los alumnos tuvieron la experiencia virtual del primer semestre. Sin embargo, vemos una drástica disminución de los promovidos y un alto porcentaje de los que pasaron a examen final y

desaprobaron. Creemos que eso se debió a que se incorporó el coloquio (evaluación oral virtual) para acceder a la promoción.

En la figura 2, podemos notar más claramente el efecto de la pandemia en todas las categorías evaluadas, en este caso comparando los años completos.

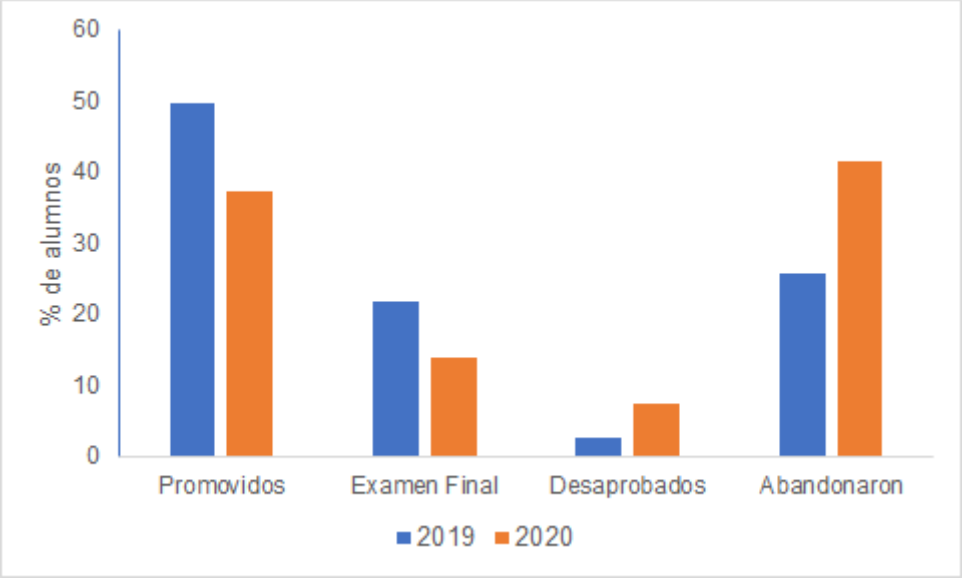


Figura 2: Comparación de categorías entre año virtual y presencial

3.- Conclusiones

En términos generales, los alumnos declaran estar conformes con la metodología utilizada en la virtualidad. Muy pocos hacen referencia a la dificultad de no tener al docente a la hora de resolver el seminario o interactuar en la clase. De la encuesta se desprende que fue muy positivo darles de antemano las clases grabadas, ya que les permitió verlas reiteradamente, asimilar el tema y llegar a la consulta con todas las dudas que se le presentaron

En cuanto a los trabajos de laboratorio es claro que resultó negativo el efecto pandemia ya que a los alumnos les gusta esa actividad y no se les permite en esta modalidad obtener el aprendizaje producto de la observación directa y el uso de las herramientas del laboratorio.

De las comparaciones de los distintos cuatrimestres, se desprende como consecuencia más adversa de la pandemia el crecimiento del número de alumnos que abandonan el curso, y la disminución de los que aprueban o van a examen final. Quizás producto de la carencia de materiales, de conectividad, o simplemente por el hecho de tener que llevar adelante la cursada desde su casa sin contacto personal directo con sus pares y con los docentes.

Esta experiencia nos lleva al planteo de la necesidad de utilizar en el futuro, una enseñanza dual, que involucre estos aspectos: volver a la presencialidad para permitir que se restaure la relación humana entre adolescentes (las pantallas limitan dicha comunicación y condicionan la empatía y el acompañamiento), dado que crea las condiciones necesarias para una sana convivencia, y continuar en la virtualidad favoreciendo la metodología que proponen las Tic´s, que permite la investigación, clase invertida etc. generando un escenario donde el aprendizaje sea más autónomo y no solo transmisivo.

4.- Bibliografía

Aguilar Gordon, F. (2020) Del aprendizaje en escenarios presenciales al aprendizaje virtual en tiempos de pandemia. Estud. pedagóg. vol.46 no.3 Valdivia 2020.

http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052020000300213

Failache, E., Katzkowicz, N., & Machado, A. (2020). La Educación en Tiempos de Pandemia y el Día Después: El Caso de Uruguay. *Revista Internacional De Educación Para La Justicia Social*, *9*(3). (Original work published 20 de mayo de 2020). https://revistas.uam.es/riejs/article/view/12185

Fardoun, H., González, C., Collazos, C. A., & Yousef, M. (2020). *Estudio exploratorio en iberoamérica sobre procesos de enseñanza-aprendizaje y propuesta de evaluación en tiempos de pandemia*. Education in the Knowledge Society 21 (2020) article 17. https://doi.org/10.14201/eks.23437

Porlán R. (2020) *El cambio de la enseñanza y el aprendizaje en tiempos de pandemia.* Revista de educación ambiental y sostenibilidad 2 (1), 1502 (2020). https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2020.v2.i1.1502

Tauber, F. (2020) *Derecho a la educación en tiempos de pandemia.* Material audiovisual aportado por el Centro de Producción Multimedial (CEPROM). Enlace externo. https://youtu.be/G8hbwuNCbQA

PRODUCCIÓN

EXPERIENCIA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNLP DURANTE LA PANDEMIA POR COVID-19: CÁTEDRA DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Williams, Eduardo A., Pendón Manuela M., Couselo Romina E., Cibeira Natalia P., Filippetti M. Belén.

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.
CP 1900. fyeproyectos@ing.unlp.edu.ar; romina.couselo@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

La educación universitaria fue afectada por la pandemia, la cual provocó cambios en la forma de dictar clases y obligó a los docentes a replantearse la didáctica en el aula. La consecuencia central del aislamiento para los alumnos y docentes fue el desafío de adaptarse rápidamente a la sustitución de las clases presenciales por nuevas formas de enseñanza y aprendizaje, bajo una modalidad virtual, para evitar atrasos en el calendario académico.
Bajo este contexto, la cátedra de Formulación y Evaluación de Proyectos redefinió sus metodologías para organizar el trabajo docente, aprendizaje y enseñanza a la modalidad virtual.
El objetivo de este trabajo es presentar la organización y metodología utilizadas en la cátedra de Formulación y Evaluación de Proyectos de la carrera de Ingeniería Industrial en el contexto de pandemia y aislamiento preventivo obligatorio. Así como exponer la utilización de los entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje y los resultados y conclusiones obtenidos.
El desarrollo del trabajo destaca la metodología utilizada y herramientas en la organización de cátedra, en las clases de teoría, en los trabajos prácticos y en comisión, la evaluación y los resultados de las encuestas por parte de los alumnos.
Finalmente concluye acerca de que la estructura de un aula virtual reviste más trabajo y organización, en una primera instancia pero que se evidencia en los alumnos aspectos positivos. A la vez que la evaluación a distancia es compleja cuando se trata de cátedras numerosas, y que la pandemia aceleró un cambio que era necesario dar para que muchas de las actividades virtuales pasen a formar parte de la metodología post pandemia.

Palabras claves: Educación virtual, Proyectos, Docencia, Pandemia, COVID-19.

INTRODUCCIÓN

La educación universitaria fue afectada por la pandemia, la cual provocó cambios en la forma de dictar clases y obligó a varias unidades académicas a replantearse la didáctica en el aula. Pasar a la virtualidad de manera repentina representó para docentes y alumnos un cambio de paradigma. La consecuencia central del aislamiento para los alumnos y docentes fue el desafío de adaptarse rápidamente a la sustitución de las clases presenciales por nuevas formas de enseñanza y aprendizaje, bajo una modalidad virtual, para evitar atrasos en el calendario académico.
La cátedra de Formulación y Evaluación de Proyectos redefinió sus metodologías para organizar el trabajo docente, aprendizaje y enseñanza a la modalidad virtual. Se realizó un planeamiento de mecanismos de comunicación sincrónicos y asincrónicos para el acompañamiento de los alumnos en el proceso de aprendizaje; digitalización del contenido, utilización de diversas herramientas para la enseñanza y aprendizaje virtual y se “transformó” la materia adaptándose al contexto de pandemia y el correspondiente aislamiento preventivo obligatorio.
Quizás la virtualidad no será algo pasajero. Quizás en la educación post pandemia estarán articuladas las enseñanzas presenciales y digitales. El desafío luego será determinar cuáles actividades será conveniente mantener de forma virtual y cuáles de forma presencial.

OBJETIVOS

El objetivo del trabajo es presentar la organización y metodología de trabajo de la cátedra de Formulación y Evaluación de Proyectos de la carrera de Ingeniería Industrial en el contexto de pandemia y aislamiento preventivo obligatorio. Asimismo, busca exponer la utilización de los entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje y los resultados y conclusiones obtenidos.

RESULTADOS

1.1. Formulación y Evaluación de Proyectos

Formulación y Evaluación de Proyectos es una materia de quinto año de la especialidad Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Tiene por objetivo transmitir al alumno la capacidad de coordinar conocimientos teóricos adquiridos a lo largo de la carrera y a su vez enseñar herramientas específicas, para la preparación y evaluación de proyectos.
La cátedra cuenta con un equipo interdisciplinario formado por ingenieros en distintas especialidades y de ciencias económicas. Este equipo se encuentra trabajando en la materia desde el año 2009.
La materia, por ubicarse dentro de las últimas del programa, cubre aspectos directamente relacionados con las incumbencias y alcances del título de ingeniero industrial.
La materia se dicta en los dos semestres con una marcada diferencia en la cantidad de alumnos. En el primer semestre del 2020 la cátedra tuvo 122 alumnos mientras que en el segundo semestre tuvo 48 alumnos.

1.2. Organización de la cátedra

La plataforma utilizada por la cátedra para comunicaciones con alumnos fue Moodle.
Para una mejor planificación y organización de los alumnos, se puso a disposición desde el primer día de clases el reglamento y cronograma de la materia, que incluyó los temas de cada clase, las fechas de entrega de los trabajos prácticos y las fechas de los parciales.

Cronograma P0712 - P1712 - Formulación y Evaluación de Proyectos
2020

Fecha	Temas
10/03 al 26/03	Introducción a la Formulación y Evaluación de Proyectos. Estudio de Mercado.
Semana 26/03 al 01/04	Proyección de la demanda. Pronósticos. Métodos causales. Series de Tiempo.
Semana 02/04 al 08/04	Estudio Técnico. **03/04/2020 Entrega NIVEL IDEA**
Semana 09/04 al 15/04	Estudio Legal, Organizacional y Ambiental
Semana 16/04 al 22/04	Beneficios del proyecto. Cálculo del valor de recupero.
Semana 23/04 al 29/04	Costos e Inversiones de un proyecto. **Miércoles 29/04/2020 16 hs Consulta Primer Parcial**
Semana 30/04 al 06/05	**Miércoles 06/05/2020 PRIMER PARCIAL VIRTUAL**
Semana 07/05 al 13/05	Capital de Trabajo. Cómo presentar un proyecto. Plan de Negocios. **Miércoles 13/05/2020 16 hs Consulta Recuperatorio Primer Parcial.**
Semana 14/05 al 20/05	Flujos de Fondos de empresas en marcha. Proyectos de reemplazo. Proyectos de ampliación. Proyectos de abandono. **Miércoles 20/05/2020 RECUPERATORIO PRIMER PARCIAL VIRTUAL** **20/05/2020 Entrega NIVEL PERFIL**
Semana 21/05 al 27/05	Flujos de Fondos de empresas en marcha. Proyectos de internalización. Proyectos de externalización. Distintas alternativas de Financiamiento y su inclusión en el flujo de fondos.
Semana 28/05 al 03/06	Evaluación de inversiones ante incertidumbre. Análisis de Sensibilidad / Riesgo.
Semana 04/06 al 10/06	Evaluación social. Cálculo y Análisis de viabilidad económica. Indicadores. Proyectos de distintas vidas útiles. **10/06/2020 Entrega NIVEL PREFACTIBILIDAD**
Semana 11/06 al 17/06	Análisis Optimizante de Proyectos.
Semana 18/06 al 24/06	**EXPOSICIONES ORALES**
Semana 25/06 al 01/07	**Miércoles 01/07/2020 SEGUNDO PARCIAL VIRTUAL**
Semana 02/07 al 08/07	**Miércoles 08/07/2020 Consulta Segundo Parcial**
Semana 09/07 al 15/07	**Miércoles 15/07/2020 RECUPERATORIO SEGUNDO PARCIAL VIRTUAL**

Cuadro 1. Cronograma de clase FyEP. Fuente elaboración propia

1.3. Las clases de teoría

Por cada tema del cronograma, los docentes de la cátedra realizaron dos o más videos explicativos de no más de 20 minutos. Los videos se confeccionaron con diferentes herramientas: Zoom, Power Point con audio, Loom, luego se compartieron de forma oculta en un canal de youtube y se puso a disposición de los alumnos en Moodle el URL del video según cada clase del cronograma.
Los videos combinaron conceptos teóricos y ejemplos de casos resueltos en Excel. En algunos casos en los videos intervinieron más de un docente. Todos los temas del cronograma además de los videos, fueron acompañados por material de lectura y bibliografía recomendada.
Cada semana del cronograma se realizó, en el horario habitual de clases de teoría, la consulta correspondiente a cada tema a través de la plataforma Zoom, donde los alumnos consultan las dudas y compartieron comentarios sobre los videos puestos a disposición con una semana de anticipación a la clase de consulta. Las consultas fueron grabadas y los alumnos debieron ingresar con cámara y audio apagado, se les habilitó el chat o el audio para preguntar. Cada clase están presentes todos los docentes para evacuar las dudas o consultas sobre el tema correspondiente según cronograma.



Figura 1: Video de Clase utilizando Zoom

1.4. El trabajo práctico y encuentros de comisiones

Durante la materia los alumnos en comisiones de no más de ocho integrantes desarrollan la formulación y evaluación de un proyecto a elección. Este trabajo práctico se realiza con la guía de un grupo docente que semanalmente se reúne con el equipo para evaluar avances y resolver consultas. El trabajo práctico tiene tres entregas escritas y un video los cuales tienen nota que participan de la polinómica de la nota final.
Los encuentros virtuales de las comisiones formadas por tres docentes (un docente responsable y dos colaboradores) y entre 5 y 8 alumnos, se realizaron utilizando la plataforma Zoom con reuniones recurrentes semanales de 40 minutos con cada equipo. Los alumnos y docentes participaron con cámaras y audio prendidos. En el primer semestre cada docente tuvo 5 grupos a cargo, hubo 23 comisiones. En el segundo semestre este número se redujo por la cantidad de alumnos.
Las entregas obligatorias del Trabajo Práctico se realizaron a través de Moodle como entregas con vencimiento.

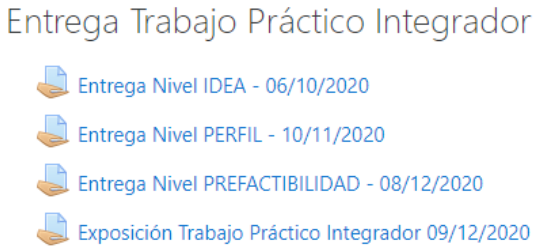


Figura 2: Organización de las entregas prácticas en Moodle

Todas las comisiones pudieron presentar el trabajo integrador en tiempo y forma. A continuación, se detalla el resultado final, en formato de video, de cada comisión.

Comisión	Video
Grupo 1: Pulsera médica de atención en el domicilio.	https://www.youtube.com/watch?v=y8NxWtiRR5I
Grupo 2:Kit Modular Integrado	https://youtu.be/vjuVNpDWfP4
Grupo 3: Football	https://youtu.be/q9yNiSmL_fc
Grupo 4: Matamosquitos ZEUS.	https://www.youtube.com/watch?v=hQqRreEP99s&feature=youtu.be
Grupo 5: SKINBED	https://www.youtube.com/watch?v=C6JGCERtt8A&t=1s
Grupo 6: Imprenta Tieri	https://www.youtube.com/watch?v=Nb51MsFYzoY&t=5s
Grupo 7: Cooperativa Huerta Verde	https://youtu.be/dz1D3Xh0A5M
Grupo 8:Apícola Vitale. Miel deshidratada.	https://youtu.be/GmfeVxUQCr0
Grupo 9: DECORE Productos reciclados.	https://www.youtube.com/watch?v=cHTNDOtbhaA
Grupo 10: Silic. Bolsas plásticas	https://youtu.be/JkpLELFGTdk
Grupo 11: Estanques de PVC.	https://www.youtube.com/watch?v=vNH0fG9gwV4&feature=youtu.be
Grupo 12: Máquina expendedora farmacéutica inteligente MEFI.	https://youtu.be/ra59rBPwmzo
Grupo 13: Nutremas – agro nutrición extra.	https://www.youtube.com/watch?v=QWi-wb4s2AM&t=6s
Grupo 14: Software para gestión de empresas.	https://www.youtube.com/watch?v=f3Qy3KBXOgA&t=3s
Grupo 15: Extrapolate. Productora de Turismo	https://www.youtube.com/watch?v=fTpoMXYCjKY
Grupo 16: Tapas dosificadoras con bomba.	https://www.youtube.com/watch?v=t35Vg7QUY9Y
Grupo 17: Remodelación Granja Parra.	https://www.youtube.com/watch?v=LbC-_HhHf3w&feature=youtu.be
Grupo 18: Blockit.	https://www.youtube.com/watch?v=0U0agBWvK4A&feature=youtu.be
Grupo 19: Radha colors.Venta de polvos, pinturas ecológicas fluorescentes y glitter ecológico	https://www.youtube.com/watch?v=2IShISDviTc
Grupo 20: Paneles solares	https://www.youtube.com/watch?v=WRq3t7ielIs
Grupo 21: Pulsera sanitizante de manos	https://youtu.be/UkqMSjBWG2g
Grupo 22: Reapertura fábrica Tomate triturado	https://youtu.be/cxY0gqzV1g0
Grupo 23: Jabón ecológico	https://youtu.be/tqIfXSivRys

Cuadro 2. Detalle de los trabajos realizados por los alumnos en comisiones

1.5. Evaluación

La metodología de evaluación se rigió por lo dispuesto en la Ordenanza No 28 de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. A mediados y al final del semestre se tomaron las evaluaciones parciales virtuales. Cada evaluación parcial tuvo una fecha de recuperación. Asimismo, al final del semestre, se tomó una evaluación "flotante". Las fechas de los exámenes se coordinaron a través de la Jefatura de Departamento de modo de evitar superposiciones con otras asignaturas del mismo semestre.
Las evaluaciones virtuales se realizaron por Zoom en diferentes reuniones en las que participaron un docente y 5 alumnos, en forma oral. Cada alumno debió responder 3 afirmaciones verdaderas o falsas. Se planificó tomando de la lista de alumnos en forma aleatoria, grupos de 5 alumnos; y cada docente tuvo a cargo entre 4 o 5 grupos para evaluar. La afirmaciones verdaderas o falsas se elaboraron en reuniones de cátedra por tema dado en el cronograma. En dichas reuniones los docentes discutieron, sugirieron cambios y con el consentimiento de todos se seleccionaron entre 20 afirmaciones por tema. Luego, en una

planilla de excel se distribuyeron las mismas con la idea de que cada alumno tenga afirmaciones de diferentes temas sin repeticiones, en forma aleatoria.
Se confeccionaron presentaciones en PowerPoint con las pautas de examen, las afirmaciones que corresponde a cada alumno, para que la pueda visualizar y luego la resolución si esas afirmaciones eran verdaderas o falsas. De esta forma, el alumno en el momento tuvo la nota de su evaluación.
Se tuvo en cuenta la sincronización de los docentes y grupos a través del horario de reuniones de Zoom (17 hs, 17:45 hs, 18 hs, y 18:45 hs.), donde cada docente evaluó las mismas afirmaciones por banda horaria, para evitar que las preguntas se conocieran antes de rendir. Los docentes con sus grupos asignados armaron previamente las diferentes reuniones de zoom y por mail invitaron a los alumnos a unirse para rendir. Los alumnos debieron acceder y permanecer con cámara encendida durante todo el examen.

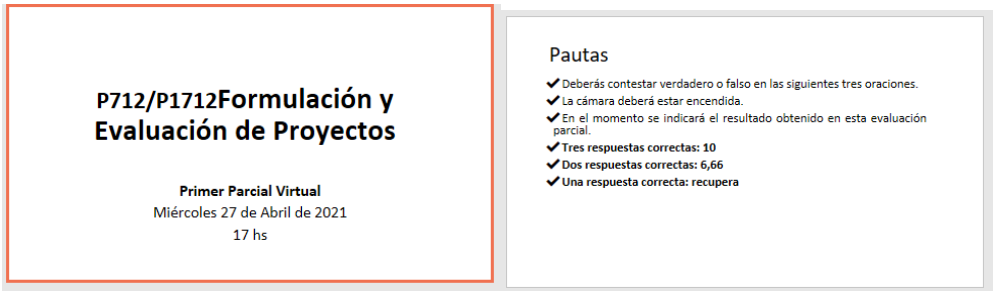


Figura 3: Presentación en PowerPoint de la primera evaluación

1.6. Encuestas de cátedra

Se presentan los comentarios de los alumnos encuestados:

- Una materia complicada y exigente, no creo que hubiera podido pasarla sin la capacidad y el compromiso de los profesores de cátedra.
- Muy buena organización, se hizo divisiones de profesores que llevaban adelante sus grupos y fue muy logrado avanzar así, creo que aprendí más que en la normalidad, estábamos más cercanos al profesor que nos tocaba y podíamos consultar más
- De las materias que más me enseñaron y más me llevo. Gracias, son unos cracks
- Muy buena organización y muy buena predisposición por parte de los ayudantes.
- La metodología de evaluación del primer módulo fue nefasta. Uno podía tener suerte y sin haber estudiado sacarse un 10 porque le tocaron 3 preguntas ultra fáciles, o podía pasarse un mes preparando el examen y que le tocaran 3 preguntas rebuscadas y desaprobar. El resto muy bien, los videos que subieron eran muy claros y todos los docentes estaban disponibles para consultas en todo momento.
- Gran equipo de docentes, de los mejores de la carrera. Excelente la organización de la cátedra. Brindó las clases en videos, y eso ayudó muchísimo, ya que se puede ver cuántas veces quieras. Tomó todas las fechas de las evaluaciones y siempre recibes una motivación por parte de los profesores diciendo ustedes ya son ingenieros/as. Muy buena respuesta de la cátedra ante la pandemia.
- Excelente disposición de la cátedra para que los alumnos podamos tener las clases que necesitábamos.
- ¡Excelente cátedra!
- La cátedra se manejó bien y me pareció acorde que enviaran vídeos para ver en vez de las clases virtuales, teniendo solo las de consultas. Con lo que no estoy de acuerdo es que nunca se mandaron las correcciones de los trabajos prácticos a los alumnos. Las clases de la materia podrían haberlas dado por zoom en vivo ya que ayuda a estar al día con la materia, cuando son subidas a YouTube, más allá de que podés verla cuando quieras que es una comodidad, cuesta estar al día con la materia porque no

hay una presión de verla en el momento. Por otro lado, el proyecto estuvo muy bien organizado.
- Me gustó mucho la materia, es muy interesante y además, te brinda muchas herramientas para el futuro.
- ¡Muy buena la organización! Siento que siendo virtual y al tener un horario estipulado con cada grupo, fue mucho mejor el trabajo en la práctica que como hubiera sido presencial. Las clases estuvieron muy bien organizadas con sus respectivas consultas. Lo único que puedo decir es tal vez dar un poco más de detalle sobre los parciales.
- ¡Nos dedicaron muchísimo tiempo! Una hora POR GRUPO con un docente y dos ayudantes para el trabajo práctico. Éramos 23 grupos. ¡Se adaptaron bárbaro a la virtualidad y estuvieron a la altura! una materia super linda, se manejaron muy bien a pesar de toda esta situación. ¡Fueron una de las cátedras que mejor se organizó! Muchas gracias

CONCLUSIONES

La estructura de un aula virtual reviste más trabajo, organización y claridad, pero bien implementada evidencia en los alumnos aspectos positivos: mayor facilidad de interacción y seguimiento.
Las medidas de distanciamiento social llevaron a un contexto de digitalización forzada y a tomar medidas de puesta en práctica de las aulas virtuales para garantizar el funcionamiento y sostenibilidad de la cursada en muy poco tiempo.
Si bien había un camino recorrido de la digitalización y utilización de algunas herramientas como la página de la cátedra en el ambiente de la facultad y utilización de Moodle para comunicar y entregar trabajos y apuntes, se profundizó la utilización y contenido de las mismas para la enseñanza virtual.
El armado de videos sobre los diversos temas le permite al alumno estudiar de forma no sincrónica, retroceder, revisar y aprovechar mejor las clases de consulta con los profesores.
La evaluación a distancia es compleja cuando se trata de cátedras numerosas, si bien pudo evaluarse de forma satisfactoria a todos los alumnos, en contexto de post pandemia la evaluación sería una de las instancias que sería conveniente fuera presencial.

Bibliografía

[1] Dirección General de educación a distancia y tecnologías. (s.f) “Aula en los entornos virtuales de la UNLP” Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

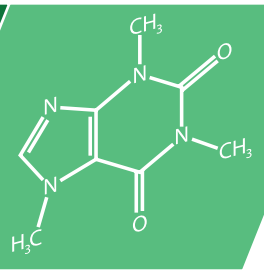
[2] Dirección General de educación a distancia y tecnologías. (s.f) “Crear un aula en los entornos de la UNLP”. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

[3] Mg Mercedes Martin, Mg Fernanda Esnaola; Dg Jaime Claudio Javier. Dirección General de educación a distancia y tecnologías. “Guía Parte 1. Diseñando un material educativo propio”. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina

[4] Mg Mercedes Martin, Mg Fernanda Esnaola; Dg Jaime Claudio Javier. Dirección General de educación a distancia y tecnologías. “Guía Parte 2. Diseñando un material educativo propio”. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina

[5] María Alejandra Zangara.E- “Learning, Entornos Educativos Virtuales: Análisis desde la perspectiva de la Tecnología Educativa”. Ciencias de la Educación (UNLP) Cátedra de Tecnología Educativa Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación Universidad Nacional de La Plata.

QUÍMICA



PELÍCULAS DE CONVERSIÓN DE LANTANO: INFLUENCIA DE LA TEMPERTURA EN LA PERFORMANCE ANTICORROSIVA.

Antonucci, Luisina[1,2*]; Mendivil, Gabriel[1]; Di Sarli, Alejandro[1]; Elsner, Cecilia I.[1,2]; Banera, Mauro[1,2]

1. CIDEPINT, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas (CICPBA, CONICET, UNLP) Av. 52 s/n entre 121 y 122, CP 1900, La Plata, Argentina
2. Facultad de Ingeniería – UNLP. Av. 1 esq. 47, CP 1900 La Plata, Argentina
*e-mail de contacto: l.antonucci@cidepint.ing.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos galvánicos base zinc son un método efectivo para proteger al acero de la corrosión atmosférica en numerosas aplicaciones, incluyendo el uso en la construcción y fabricación de componentes industriales. Los recubrimientos se pueden obtener por electrodeposición o inmersión en caliente (hot-dip) en baños de zinc fundido; este último método presenta múltiples ventajas, tales como menor costo de producción y mayor capacidad para recubrir zonas de difícil acceso con un espesor mínimo estándar, resistencia al daño mecánico y buena resistencia a la corrosión en una amplia gama de medios[1][2].

En primera instancia, los recubrimientos a base de zinc protegen al acero de la corrosión por efecto barrera, donde el revestimiento de zinc constituye una barrera física entre el acero base y el medio corrosivo. Adicionalmente, cuando el zinc se acopla al acero, este se polariza a un potencial tal que se convierte en el cátodo de la cupla acero-zinc, volviéndose inmune a la corrosión durante la vida útil del zinc. En la práctica, esto significa que el acero expuesto en un defecto del recubrimiento o en un borde cortado no se oxidará hasta que se consuma el zinc cercano[1][3]. Si bien los aceros galvanizados poseen una mayor resistencia a la corrosión atmosférica que los aceros desnudos, son susceptibles a la formación de óxido blanco cuando las piezas recién galvanizadas son expuestas a una atmósfera húmeda. Estos ataques de corrosión rápida y localizada generan depósitos voluminosos de óxidos e hidróxidos de zinc, que reducen la vida útil de la pieza.

En la industria está ampliamente difundida la aplicación de películas de conversión a base de cromatos, para mejorar la resistencia a la corrosión de los aceros galvanizados, y minimizar así la formación de óxido blanco en las primeras etapas de exposición[2]. Estos recubrimientos pueden ser obtenidos mediante tratamiento químico o electroquímico del metal en soluciones que contengan cromo hexavalente (Cr(VI)). Este proceso resulta en la formación de una película amorfa compuesta por el sustrato, compuestos complejos del cromo, y otros componentes presentes en la solución de tratamiento. La eficacia de estas películas de conversión está relacionada no sólo con su capacidad para actuar como una barrera física, sino también con su propiedad de autoreparación en las zonas dañadas del recubrimiento[4]. Sin embargo, los compuestos oxoaniónicos hexavalentes del cromo son altamente tóxicos, solubles en agua y fáciles de transportar a través de las membranas celulares[5]. Estas características los convierten en compuestos peligrosos para los seres humanos y el ambiente, impulsando la búsqueda de sustitutos de baja toxicidad y ecocompatibles, como son las películas de conversión a base de tierras raras o lantánidos.

El objetivo del presente trabajo es analizar la influencia ejercida por la temperatura de tratamiento sobre la performance anticorrosiva de películas de conversión obtenidas por inmersión de chapas de acero galvanizado comercial en soluciones de nitrato de lantano.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Preparación del sustrato metálico

Se utilizó como sustrato base acero galvanizado comercial, tipo “hot dip”, de 50x20x0,65 mm de dimensión. Las muestras se sometieron a una limpieza electroquímica a fin de remover el contenido de óxidos y de cromo superficial[6]. La limpieza se llevó a cabo en una solución de hidróxido de sodio 10% p/v, en una celda con un ánodo de acero al carbono y la probeta a limpiar como cátodo. Con una fuente de alimentación marca V&A modelo

HY3005D, se aplicó una densidad de corriente de 0,2 A/cm^2 durante 60 segundos, posteriormente las probetas se lavaron con abundante agua de ósmosis (18,2 MΩ·cm a 25°C) y acetona. Una vez enjuagadas, las probetas se secaron con aire caliente y se almacenaron en desecador hasta su posterior uso.

Pretratamientos

Las muestras de acero galvanizado a tratar se enmascararon para delimitar la superficie expuesta a la solución de tratamiento a un área de 6 cm^2. Las películas de conversión a base de lantano se generaron por inmersión de las probetas en una solución de $La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ 5 g/L de pH ~ 5,6, durante 10 minutos a 20, 50 y 70°C. La celda de tratamiento se colocó en un baño termostático Viking Mod. Masson, a fin de mantener la temperatura de la solución de tratamiento constante. Posteriormente, las probetas se enjuagaron con agua de ósmosis y se secaron con aire caliente.

A fin de comparar el desempeño de estas películas de conversión, se emplearon como muestras de referencia probetas de acero galvanizado sin pretratamiento (HDG) y muestras con el recubrimiento comercial a base de cromo hexavalente (Cr).

Todas las soluciones de tratamiento se prepararon a partir de reactivos grado analítico.

Medidas electroquímicas

El desempeño anticorrosivo de las películas obtenidas se evaluó mediante curvas de polarización potenciodinámicas, espectroscopia de impedancia electroquímica y voltamperometría cíclica. Se utilizó una celda típica de tres electrodos, con una placa de acero inoxidable como contraelectrodo, un electrodo de $Ag/AgCl_{(sat)}$ como electrodo de referencia y la probeta a ensayar como electrodo de trabajo. Para las medidas de polarización e impedancia electroquímica se empleó una celda de 100 mL con un área de trabajo de 1,32 cm^2, mientras que los ensayos de voltamperometría ciclica se realizaron en una celda de 50 mL y un área expuesta de 4 cm^2.

Las curvas de polarización se obtuvieron con un potenciostato EG&G PAR 273A, controlado mediante el software CorrWare®, en un rango de potencial de ±100 mV alrededor del potencial de circuito abierto (PCA), con una velocidad de barrido de 0,1667 mV/s en dirección anódica.

Los espectros de impedancia se llevaron a cabo empleando un potenciostato Gamry Reference 3000; el rango de frecuencia estudiado fue de 50 kHz a 10 mHz, aplicando una señal de perturbación de 10 mV rms C.A. respecto al potencial de circuito abierto. Los espectros obtenidos se ajustaron mediante el software EC-Lab®.

Previo a la realización de los ensayos de polarización y de impedancia electroquímica, las muestras se sumergieron durante 2 hs en NaCl 0,05 M, para permitir la estabilización del sistema.

Los ensayos de voltamperometría cíclica se realizaron con un potenciostato Gamry Reference 3000. Las medidas se realizaron a una velocidad de barrido de 50 mV/s, en un rango de potencial entre -1,8 y 0 V vs. $Ag/AgCl_{(sat)}$ en solución de borato naturalmente aireada (H_3BO_3 35 g/L y $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ 40 g/L).

Todas las medidas electroquímicas se realizaron al menos por triplicado y a temperatura ambiente (c.a 22°C).

Análisis superficial

La morfología superficial de las películas generadas se evaluó mediante microscopia electrónica de barrido usando un microscopio Philips SEM 505. A su vez, se realizó un examen semi-cuantitativo de las películas mediante espectroscopia de dispersión de rayos X (EDS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las curvas de polarización potenciodinámicas (CPP) son una herramienta útil para evaluar el desempeño de recubrimientos frente a la corrosión en distintos medios agresivos. En la **Figura 1** se presentan las CPP de las películas de conversión a base de lantano

obtenidas por inmersión a distintas temperaturas, junto con las curvas correspondientes a una probeta de acero galvanizado sin tratar (HDG) y a una probeta con el recubrimiento comercial a base de cromatos (Cr). En la misma se observa que todos los tratamientos ensayados desplazan las densidades de corriente anódica y catódica hacia valores menores, sin modificar la cinética de las reacciones y, en consecuencia, reducen aproximadamente un orden de magnitud la velocidad de corrosión del sustrato base.

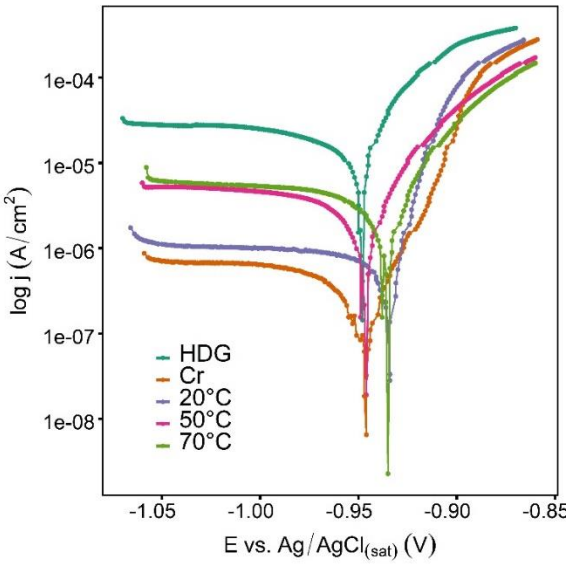


Figura 1. CPP de los diferentes pretratamientos obtenidas en NaCl 0,05 M a 2 h de inmersión.

Dado que la reacción catódica está controlada por la transferencia de materia, la velocidad de corrosión j_{corr} queda determinada por el valor de la densidad de corriente límite del O_2. Los resultados del ajuste se presentan en la **Tabla 1**, como el valor promedio ± la desviación estándar. Se incluye, además, la eficiencia de protección calculada como:

$$EP[\%] = 100 \times \frac{(j_{corr})_{HDG} - (j_{corr})_i}{(j_{corr})_{HDG}}$$

donde $(j_{corr})_i$ y $(j_{corr})_{HDG}$ son las velocidades de corrosión de la muestra sometida al pretratamiento i y del sustrato de acero galvanizado sin protección, respectivamente. El valor numérico de EP debe considerarse sólo como un indicador relativo para permitir la comparación entre los diferentes pretratamientos ensayados.

Muestra	j_{corr} [µA/cm^2]	E_{corr} [mV vs Ag/AgCl$_{(sat)}$]	EP [%]
HDG	18,2 ± 6,6	-963 ± 4	---
Cr	0,75 ± 0,2	-954 ± 4	96
20°C	0,97 ± 0,6	-961 ± 1	95
50°C	3,94 ± 0,8	-955 ± 2	78
70°C	4,65 ± 1,5	-954 ± 2	74

Tabla 1. Parámetros electroquímicos obtenidos a partir de las curvas de polarización.

Los datos obtenidos por polarización sugieren que el pretratamiento a base de lantano genera una delgada película de conversión, que actúa como una barrera entre la superficie metálica y el medio corrosivo. La elevada resistencia eléctrica del recubrimiento, dificulta el suministro de oxígeno o electrones, disminuyendo así la velocidad de corrosión del sustrato base[7]. De acuerdo con la literatura, el mecanismo de formación de películas de conversión a base de tierras raras consiste en la precipitación de óxidos e hidróxidos, insolubles en las condiciones alcalinas generadas en las adyacencias de la superficie metálica. Cuando el acero galvanizado entra en contacto con la solución, se forman numerosas microceldas

electroquímicas en la interface solución/sustrato. En las zonas anódicas se produce la disolución del sustrato metálico (Ec.1), mientras que en los sitios catódicos transcurre la reducción del oxígeno disuelto para dar iones OH^- (Ec. 2 y 3). El avance de las reacciones de reducción conduce a un aumento localizado del pH, que permite la formación de hidróxidos ternarios por hidrólisis de los cationes de tierras raras. A medida que la concentración de iones OH^- se incrementa, el pH en la interface metal/solución alcanza valores superiores a los límites de solubilidad de $Zn(OH)_2$ y $La(OH)_3$ en solución, permitiendo así su deposición sobre la superficie metálica para formar una película de conversión compuesta por una mezcla de óxidos e hidróxidos (Ec. 4 a 7) [5][8].

$$Zn \rightarrow Zn^{+2} + 2e^- \quad \text{Ec. 1}$$

$$2H_2O + O_2 + 4e^- \rightarrow 4OH^- \quad \text{Ec. 2}$$

$$2H_2O + O_2 + 2e^- \rightarrow H_2O_2 + 2OH^- \quad \text{Ec. 3}$$

$$Zn^{+2} + 2OH^- \rightarrow Zn(OH)_2 \quad \text{Ec. 4}$$

$$Zn(OH)_2 \rightarrow ZnO + H_2O \quad \text{Ec. 5}$$

$$La^{+3} + 3OH^- \rightarrow La(OH)_3 \quad \text{Ec. 6}$$

$$2La(OH)_3 \rightarrow La_2O_3 + 3H_2O \quad \text{Ec. 7}$$

La espectroscopia de impedancia electroquímica es una técnica complementaria a las curvas de polarización, que permite evaluar con más detalle el desempeño anticorrosivo de los recubrimientos superficiales. En la **Figura 2** se presentan los diagramas de Bode de las probetas de acero galvanizado sin tratar (HDG), pretratadas en solución de lantano a 20°C, y con el recubrimiento comercial a base de cromatos (Cr). Al comparar la performance anticorrosiva global de los recubrimientos, a través del módulo de impedancia a bajas frecuencias $|Z|_{0.01Hz}$, se observa que las películas de conversión a base de lantano obtenidas a 20 °C mejoran la resistencia a la corrosión de las probetas sin tratar (HDG), aunque no logran un desempeño tan eficaz como las películas comerciales a base de cromatos.

En el caso del pretratamiento a 20°C, el aumento en el ángulo de fase a altas frecuencias y su desplazamiento hacia frecuencias más bajas, respecto al sustrato sin tratar, sugieren una disminución en la superficie expuesta del acero base, debido a la formación de una película que dificulta el acceso del electrolito a los sitios activos[9]. El diagrama de Bode del pretratamiento a base de cromatos, presenta un ángulo de fase a altas frecuencias mayor que los recubrimientos a base de lantano, asociado al efecto barrera que permite aislar al sustrato base del entorno corrosivo[10].

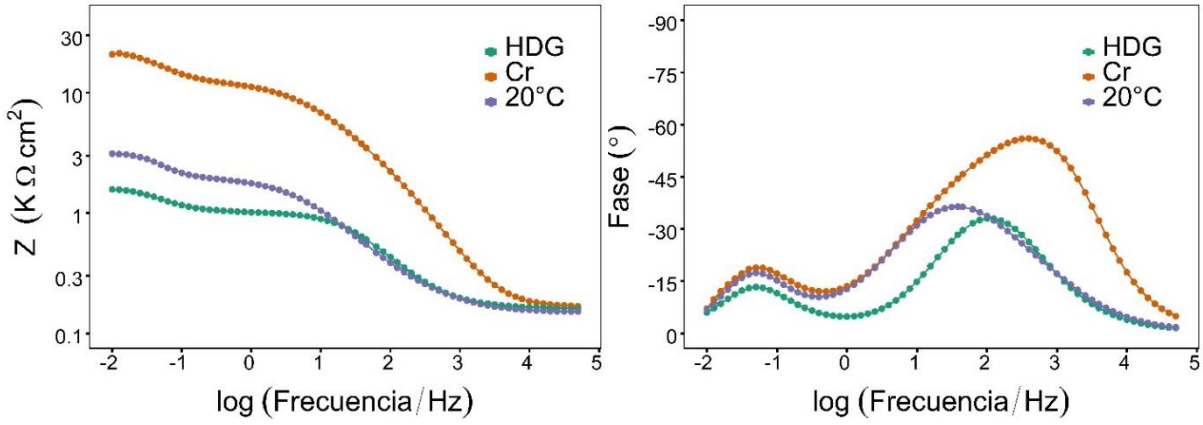


Figura 2. Diagrama de Bode de los EIE para los diferentes pretratamientos en NaCl 0,05 M a 2 h de inmersión.

En los diagramas de Bode para las películas a base de lantano y el sustrato sin tratar, se advierten dos constantes de tiempo bien definidas, una en la región de alta y media

frecuencia (~10^4 – 10^1 Hz), correspondiente al efecto barrera de la película, y la segunda a bajas frecuencias (~10^{-1} Hz) asociada a la doble capa electroquímica en la interface metal/solución. En el caso particular del pretratamiento comercial de cromo, en la región de alta y media frecuencia se observan dos constantes de tiempo superpuestas, una vinculada al recubrimiento de cromo y otra a la formación de óxidos en los defectos de la película durante el período de estabilización del potencial de circuito abierto.

En la **Figura 3**, se presentan los circuitos equivalentes empleados para ajustar los espectros de impedancia obtenidos. En los mismos, R_S es la resistencia de la solución, R_{CO} y Q_{CO} representan la resistencia y la capacitancia de la película de conversión, respectivamente, mientras que R_{CT} y C_{DL} corresponden a la resistencia a la transferencia de carga y la capacitancia de la doble capa electroquímica en la interface sustrato/película. Los elementos R_{OX} y Q_{OX} en el circuito **b)** corresponden a la resistencia y capacitancia de los óxidos formados en los defectos de la película de conversión a base de cromatos. En los circuitos equivalentes utilizados para el ajuste de los espectros, se emplearon elementos de fase constante (CPE) para describir el comportamiento capacitivo no ideal, asociado a la rugosidad y a la existencia de defectos sobre las superficies ensayadas[9].

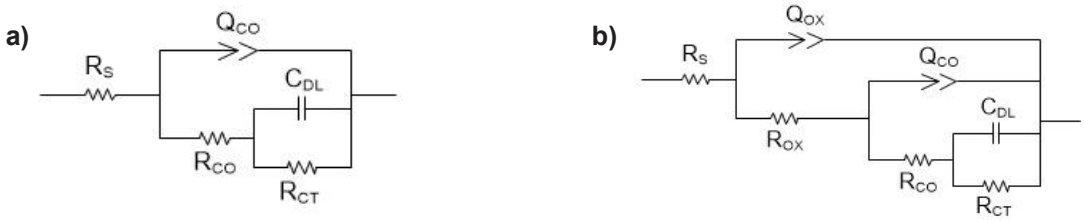


Figura 3. Circuitos equivalentes empleados para ajustar los espectros de impedancia electroquímica.

Los resultados del ajuste realizado mediante el software EC-Lab®, con una R_S de 168 Ohm, se presentan en la **Tabla 2** junto con la resistencia a la polarización R_P, calculada según:

$$R_P = R_{OX} + R_{CO} + R_{CT}$$

Muestra	Q_{OX} [$\mu F*s^{(a-1)}$]	a_{OX}	R_{OX} [Ohm]	Q_{CO} [$\mu F*s^{(a-1)}$]	a_{CO}	R_{CO} [Ohm]	C_{DL} [mF]	R_{CT} [Ohm]	R_P [Ohm]
HDG	---	---	---	18,1	0,775	856	6,90	559	1.415
Cr	5,69	0,696	749	2,95	0,826	16.016	0,31	21.946	38.711
20°C	---	---	---	30,9	0,685	2.021	3,07	1.446	3.467

Tabla 2. Parámetros ajustados para los diferentes sustratos con y sin pretratamientos.

Los valores de de R_{CO} y Q_{CO} informados para las muestras de acero galvanizado sin pretratamientos (HDG), podrían deberse a la formación de una película porosa de productos de corrosión durante el período de estabilización del PCA. Esta película, compuesta principalmente por óxidos e hidroxicloruros de zinc, no presenta buena adherencia al sustrato base y proporciona un efecto barrera débil frente a la acción del medio corrosivo[11].

El aumento que se observa en la resistencia a la transferencia de carga R_{CT}, para los dos pretratamientos considerados, está asociada a la formación de una película de conversión sobre la superficie metálica, que bloquea significativamente el progreso del proceso de corrosión[9]. Dado que la resistencia a la polarización R_P es inversamente proporcional a la velocidad de corrosión del sustrato base, es deseable que los pretratamientos desarrollados presenten valores de R_P considerablemente mayores a los del sustrato sin tratar. De los resultados presentados en la **Tabla 2**, se observa que las películas de conversión a base de lantano mejoran el valor de este parámetro, pero no son tan eficaces como la opción comercial a base de cromo hexavalente.

Los voltagramas obtenidos para las probetas de acero galvanizado sin tratar (HDG), pretratadas en solución de lantano a 20°C, y con el recubrimiento comercial a base de cromo hexavalente (Cr), se presentan en la **Figura 4**. En la misma, se observa que los dos pretratamientos considerados, conducen a una disminución en la intensidad del pico correspondiente a la disolución del zinc, así como a su desplazamiento en sentido catódico[12].

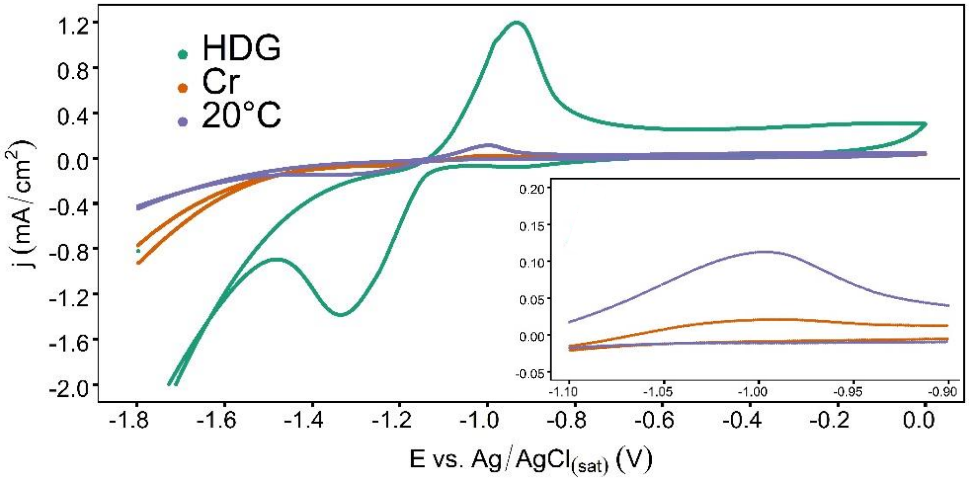


Figura 4. Voltagramas cíclicos obtenidos para las muestras ensayadas. Recuadro: picos anódicos para Cr y La a 20°C.

En la **Tabla 3** se presentan las corrientes de pico (I_P) y la integración de la carga (Q) correspondiente a la respuesta anódica de las muestras ensayadas. Dado que las películas de conversión a base de lantano protegen al sustrato bloqueando el acceso del oxígeno a los sitios activos sobre la superficie metálica, es esperable que la corriente de pico anódico disminuya en las muestras pretratadas respecto a las probetas sin tratar (HDG). Por integración del área bajo la curva del pico anódico, es posible estimar un factor de cubrimiento relativo (*FCR*) como la relación entre la carga que circula en el sustrato sometido al pretratamiento *i* (Q_i) y sin tratar (Q_{HDG}), según:

$$FCR = 100 \times \frac{Q_{HDG} - Q_i}{Q_{HDG}}$$

Del análisis de los resultados surge que el pretratamiento comercial a base de cromo logra cubrir prácticamente la totalidad de la superficie activa del zinc, en tanto que los pretratamientos a base de lantano obtenidos a 20°C permiten cubrir c.a. del 90% del área activa. Esta reducción en el área activa expuesta sería la responsable de la disminución de la velocidad de corrosión observada en las curvas de polarización.

Muestra	I_P [mA]	Q [mC/cm^2]	FCR
HDG	4,401	4,148	---
Cr	0,094	0,054	99
20°C	0,448	0,327	92

Tabla 3. Parámetros obtenidos de los ensayos de voltamperometría cíclica

En la **Figura 5** se presentan las imágenes SEM obtenidas para una muestra de acero galvanizado con una película de conversión a base de lantano generada a 20°C. Previo al análisis, las muestras se metalizaron con oro a fin de mejorar la calidad de las imágenes obtenidas y evitar problemas de carga superficial asociados a la baja conductividad del recubrimiento superficial.

En la imagen **a)** se observa la existencia de una película de morfología irregular, lo suficientemente delgada para identificar los defectos existentes en el sustrato base. En las imágenes **b)** y **c)**, se distinguen pequeños aglomerados más brillantes asociados a la

acumulación de óxidos e hidróxidos de lantano. El análisis EDS confirma la presencia de lantano sobre la superficie metálica, aunque su concentración es menor al contenido real de la película debido a que las señales detectadas se originan tanto de la película de conversión como del sustrato base.

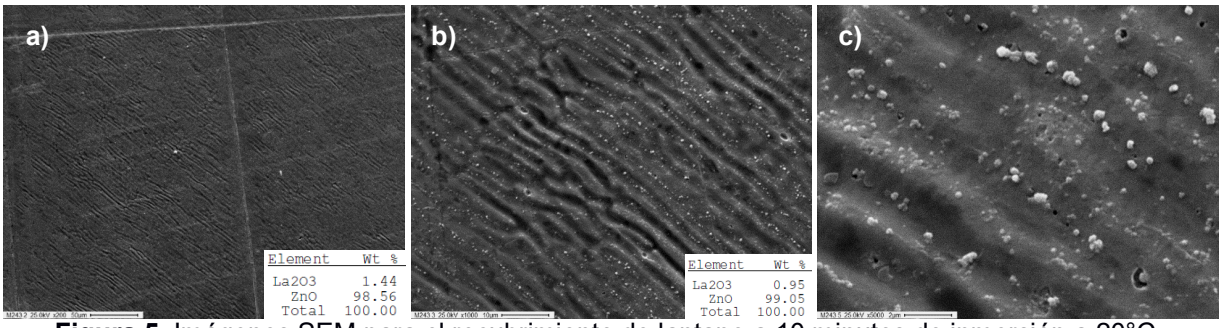


Figura 5. Imágenes SEM para el recubrimiento de lantano a 10 minutos de inmersión a 20°C. Recuadro: Análisis EDS.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos por polarización indican que las películas de conversión a base de lantano logran reducir la velocidad de corrosión c.a. del 90%, siendo las generadas a 20°C la que presentan mejor performance anticorrosiva. Los ensayos de impedancia electroquímica y voltamperometría muestran que el pretratamiento a 20°C confiere un aceptable efecto barrera disminuyendo la superficie activa expuesta al medio agresivo. Si bien estos resultados son promisorios, no se logra aún igualar la performance anticorrosiva de los pretratamientos a base de cromatos.

REFERENCIAS

[1] S. D. Cramer and B. S. J. Covino, eds., "*ASM Handbook, Volume 13A: Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*". ASM International, 2003.

[2] R. Baboian, ed., "Corrosion *Tests and Standards: Application and Interpretation".* ASTM International, 2005.

[3] Z. Yu, J. Hu, and H. Meng, "*A review of recent developments in coating systems for hot-dip galvanized steel*", Front. Mater. 7, 2020.

[4] Z. Gao, D. Zhang, X. Li, S. Jiang, and Q. Zhang, "*Current status, opportunities and challenges in chemical conversion coatings for zinc*", Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp., vol. 546, pp. 221-236, 2018.

[5] B. Volarič, and I. Milošev, *"Rare earth chloride and nitrate salts as individual and mixed inhibitors for aluminium alloy 7075-T6 in chloride solution"*, Corros. Eng. Sci. Technol., 52:3, pp. 201-211, 2017.

[6] ASTM G1-03(2017)e1, "*Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens"*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

[7] A. Hossein J. M, G. B, and B. Ramezanzadeh, "*Anti-corrosion performance of the mild steel substrate treated by a novel nanostructure europium oxide-based conversion coating: Electrochemical and surface studies*", Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp., vol. 609, p. 125689, 2021.

[8] C. Li, T. Liang, R. Ma, A. Du, Y. Fan, X. Zhao, and X. Cao, "*Superhydrophobic surface containing cerium salt and organosilane for corrosion protection of galvanized steel*", J. Alloys Compd., vol. 825, p. 153921, 2020.

[9] A.E. Somers, Y.Peng, A.L. Chong, M. Forsyth, D.R. MacFarlane, G.B. Deacon, A.E. Hughes, B.R.W. Hinton, J.I. Mardel, and P.C. Junk, *"Advances in the development of rare earth metal and carboxylate compounds as corrosion inhibitors for steel",* Corros. Eng. Sci. Technol., vol. 55:4, pp. 311-321, 2020.

[10] E.K. Karaxi, I.A. Kartsonakis, and C.A. Charitidis, "*Assessment of seal-healing epoxy-based coatings containing microcapsules applied on hot dipped galvanized steel*", Front. Mater. 6:222, 2019.

[11] S. Zhang, B. Yang, G. Kong, and J. Lu, "*Effect of silicate pretreatment on lanthanum conversion coating of hot-dip galvanized steel*". Int. J. Electrochem. Sci., vol. *13,* 11, pp. 10247-10258, 2018.

[12] P.R. Seré, W. Egli, and A.R. Di Sarli, "*Preparation and Characterization of Silanes Films to Protect Electrogalvanized Steel*". J. of Mater. Eng. and Perform., vol. 27, pp. 1194–1202, 2018.

SÍNTESIS DE MATRICES DE QUITOSANO CON HIERRO POR GELIFICACIÓN Y LIOFILIZACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS

Cintia C. Lobo[1], Jorge E. Colman Lerner[2], Nora C. Bertola[1], Noemi E. Zaritzky[1,3]
[1]Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA-UNLP-CONICET-CIC), [2]Centro de Investigaciones en Ciencias Aplicadas (CINDECA-UNLP-CONICET-CIC), [3]Facultad de Ingeniería, Depto Ing. Quimica.UNLP. Calle 47 y 116 s/n CP1900 La Plata, Bs As Argentina.
zaritzkynoemi@gmail.com

Palabras clave: arsénico, quitosano, remoción, agua

INTRODUCCIÓN

El agua es el líquido primordial e indispensable para todos los seres vivos sin embargo, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) informaron que 748 millones de personas no poseen acceso a fuentes de agua segura. Se estima que alrededor de un 50% de la población mundial utiliza agua subterránea (UNESCO, 2015). En Argentina se estima que un 30% de la población no posee acceso a agua potable segura y se abastece de aguas subterráneas (Institutito Nacional de Estadísticas y Censos, 2010). La coexistencia de Arsénico (As) en aguas subterráneas se ha convertido en un grave problema ambiental en países como China, Argentina, Pakistan, México, Corea y Chile (Shankar, et al. 2014). La contaminación con As en aguas subterráneas puede ser provocada tanto por procesos naturales geológicos como por actividades antropogénicas. En Argentina, el As se encuentra distribuido en áreas de la Puna y la Llanura Chaco-Pampeana. Considerando la distribución y presencia de As, el riesgo potencial de su ingesta comprende 4 millones de personas. El consumo de agua contaminada con As ha ocasionado la existencia del hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), enfermedad que se manifiesta principalmente por alteraciones dermatológicas, evolucionando hacia patologías graves como cáncer. Por ello, la Organización Mundial de la Salud ha recomendado un límite máximo permitido de 0.010mg/L de As en agua apta para consumo humano (OMS, 2011). Los métodos de remoción de As incluyen: precipitación, oxidación-coagulación, membranas de intercambio iónico y adsorción (Litter, et al. 2019). Actualmente, el empleo de biopolímeros como adsorbentes está ganando más atención como un medio simple, eficaz y económico. La quitina (poli-β-(1,4)-N-acetil-D-glucosamina), segundo polisacárido natural en abundancia, se encuentra en paredes celulares de hongos y exoesqueleto de crustáceos e insectos. Mediante la desacetilación de quitina se obtiene quitosano (poli-β-(1,4)-D-glucosamina-N-acetil-D-glucosamina), un polielectrolito catiónico que exhibe características fisicoquímicas de notable interés. La quitina es el componente principal de exoesqueletos de crustáceos que están presentes en desechos del procesamiento de mariscos que se acumulan en el ambiente como residuos sólidos. Se ha evaluado la quitina y quitosano como adsorbentes para la eliminación de As en aguas, sin embargo presentan baja capacidad de adsorción. La combinación de quitosano con hierro ha sido propuesta para incrementar la efectividad de remoción de As (Ravenscroft, et al. 2011, Marques Neto, et al. 2013). El quitosano puede moldearse como geles, esferas, fibras y matrices porosas tridimensionales. Existen en la literatura trabajos que desarrollan matrices liofilizadas de quitosano para ingeniería de tejidos (Dragan y Dinu, 2020), sin embargo escasos trabajos analizan su potencial en el tratamiento de aguas. Estas matrices son muy porosas y por ende poseen una relación área/volumen alta que podría resultar en una alta efectividad en el proceso de adsorción. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue sintetizar matrices de quitosano con iones férrico mediante gelificación ionotrópica y liofilización, y evaluar su aplicación para la remoción de As en aguas.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Síntesis de matrices no porosas de quitosano con iones férrico (Q-Fe) esféricas por gelificación ionotrópica. El quitosano empleado fue disuelto en la solución de Fe $(NO_3)_3$•9H2O y ácido acético a 50ºC bajo agitación constante, para obtener un hidrogel con 0.7% p/p de Fe^{+3} en 100g de quitosano. Las matrices esféricas (Q-Fe) se formaron por gelificación ionotrópica por medio de goteo en Na(OH) 0.5 M. En este procedimiento el polisacárido de quitosano disuelto en solución ácida acuosa permite obtener el catión de quitosano. A continuación, el quitosano solubilizado se añade en forma de gota a gota a la solución de Na(OH) bajo agitación. Debido a la formación de complejos entre especies con carga opuesta, el quitosano solidifica y precipita en forma partículas esféricas. Las matrices formadas, se mantuvieron en agitación en la solución NaOH 2 h para lograr la estabilización de la matriz, luego fueron lavadas con agua destilada varias veces hasta pH=7. Finalmente, se secaron en estufa convectiva (Drying Oven Modelo DHG-9123A) a 40ºC hasta peso constante.

Síntesis de matrices porosas de quitosano con iones férrico (LQ-Fe) liofilizadas. El quitosano con Fe^{+3} se solubilizó mediante el procedimiento descripto para matrices no porosas. Una vez obtenido el hidrogel se colocó en moldes de forma cilíndrica y se mantuvieron 24 h a -18ºC. Luego, se colocaron en un liofilizador (Rificor Modelo L-A-B3), por 48 h y se obtuvieron las matrices porosas secas. Previo a su empleo en ensayos de remoción de As las matrices liofilizadas se neutralizaron en Na(OH) 0.5 M por 2 h y luego fueron lavadas varias veces con agua destilada hasta pH=7.

Caracterización de las matrices. La microestructura y composición fue analizada en Microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM, Feiquanta 200) filamento de tungsteno en modo alto vacío con detector de electrones secundarios. Este equipo cuenta con un detector de rayos X dispersivo en energía (EDS, Energy Dispersive Spectrometer Edax Apolo 40). El espectro fluorescente de rayos X se obtuvo a partir de la dispersión de energía de rayos X (EDX) a un voltaje de 20.0 kV. Las muestras fueron recubiertas en oro. Además, el espectro de matrices Q-Fe y LQ-Fe, pre y post adsorción de As fue obtenido en espectroscopía infrarroja con reflectancia total atenuada (ATR-FTIR Nicolet). El rango de longitud de onda obtenido fue 500 - 4000 cm^{-1} por medio de 32 escaneos con una resolución espectral de 4 cm^{-1}.

Remoción de Arsénico empleando matrices no porosas Q-Fe y porosas LQ-Fe. Se analizó la adsorción de As(V) 0.3±0.007 mg/L de As inicial, en 1 g/L de matriz seca Q-Fe y 1.3 g/L de matriz seca LQ-Fe, pH 5.10 y temperatura 25ºC. Los ensayos fueron realizados en un incubador shaker (Barnstead MaxQ4000) a 25ºC y 200 rpm. Se determinó el porcentaje de remoción como:

$$(\%)\ Remoción\ = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i}\right) * 100 \qquad (1)$$

donde C_i y C_f son las concentraciones de As (mg/L) iniciales y en el tiempo t (24h). La capacidad de adsorción (q) es la cantidad de As(V) (mg) adsorbido por unidad de masa de matriz seca (g) y se determina como:

$$q = \left(\frac{C_i - C_f}{m}\right) * V \qquad (2)$$

q se determinó a las 24 h y se expresa como (mgAs/(gmatriz seca), C_i y C_f son las

concentraciones de As (mg/L) iniciales y en el tiempo t (24h), m la masa seca del adsorbente adicionado (g) y V (L) el volumen de la solución.

Análisis de características estructurales de matrices Q-Fe y L-QFe. La microestructura y la composición elemental de las matrices Q-Fe y LQ-Fe se analizaron por ESEM. En la Figura 1a se observa que las matrices Q-Fe secas tuvieron un diámetro de 1.3 mm con una forma aproximadamente esférica. Las matrices Q- Fe fueron sintetizadas mediante gelificación ionótropica como se explicó más arriba. Para la matriz LQ-Fe el diámetro fue 0.9 mm y la altura 10 mm (Figura 2b), con una forma cilíndrica debido al molde empleado en su síntesis. En la Figura 2 c y d, se encuentran micrografías de las matrices Q-Fe y L-QFe con 24 h en contacto con 0.3 mg/L de As pH 5.10. Como puede observarse la matriz LQ-Fe presentó una estructura más porosa respecto de la matriz Q-Fe. Esta estructura porosa se formó durante el proceso de síntesis en el paso de liofilización donde se realizó la sublimación del agua en condiciones de vacío (Dragan y Dinu, 2020).

La Figura 2 muestra el Espectro de fluorescencia de Rayos X obtenido a partir del análisis de dispersión de energía por Rayos X (EDX) para matrices Q-Fe y LQ-Fe. En los espectros puede observarse la presencia de Fe y As en matrices Q-Fe y LQ-Fe, confirmando la presencia de estos elementos en las matrices post adsorción de As.

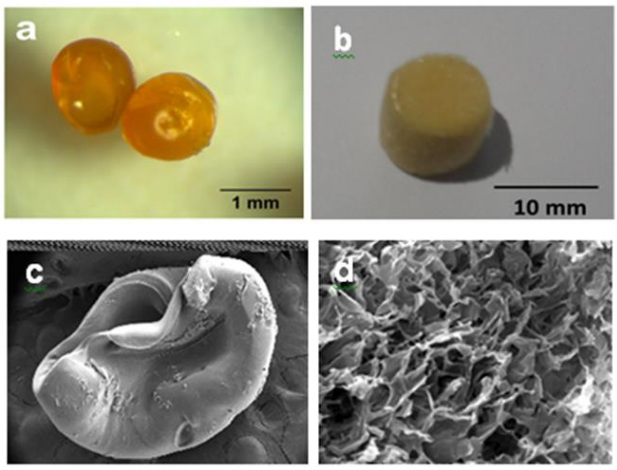


Figura 1. **a** y **b**, Matriz Q-Fe y Matriz L-QFe secas, respectivamente. **c.** Micrografías obtenidas por SEM para matrices Q-Fe y LQ-Fe, respectivamente.

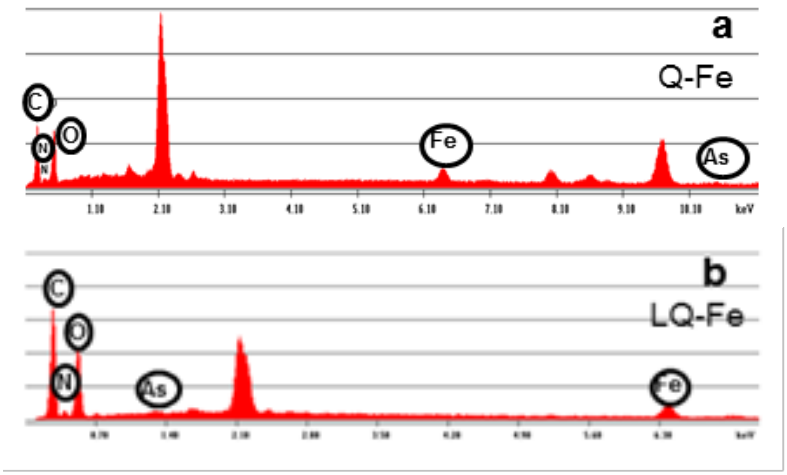


Figura 2. Espectro fluorescente de rayos X obtenido mediante SEM para: **a.** Matriz no

porosa de quitosano con iones férrico (Q-Fe) post adsorción de As. **b.** Matriz porosa de quitosano con iones férrico (LQ-Fe) post adsorción de As.

En la Figura 3 se encuentra el espectro obtenido para quitosano (Q) y para matrices Q-Fe y LQ-Fe pre-adsorción de As y post-adsorción de As. Los espectros FTIR analizados se centraron en el intervalo de longitud de ondas de 1800 - 800 cm^{-1}. En el espectro Q la banda en 1643 cm^{-1} se corresponde al estiramiento del grupo carbonilo (C=O) con el doblez de tijera del grupo NH_2, la banda a 1585 cm^{-1} corresponde al grupo NH_2 de Amida II, la cual se solapa con la flexión del grupo amino en 1549 cm^{-1}. El pico a 1417 cm^{-1} corresponde al grupo amida I (-NH_2) con flexión simétrica "tijera" de amida I a 1375 cm^{-1}, en 1149 cm^{-1} el pico corresponde al estiramiento C-N, en 1058 cm^{-1} y 1025 cm^{-1} las vibraciones de estiramiento de grupo alcohólico característico de polisacáridos (Wang, et al. 2014). En el espectro de matrices Q-Fe obtenido se observan algunas diferencias respecto del Q: un leve desplazamiento del pico de 1643 cm^{-1} del estiramiento del grupo carbonilo (C=O) con el doblez de tijera del grupo NH_2 a 1651 cm^{-1} y de la banda de 1585 cm^{-1} que corresponde al grupo NH_2 de Amida a 1563 cm^{-1}. Además, se evidenció una disminución del pico a 1563 cm^{-1} para la matriz Q-Fe post adsorción de As. Esto pudo deberse a la interacción electroestática entre As y el grupo NH_2. En las condiciones de pH empleadas (pH 5.10) As(V) predomina como anión $H_2AsO_4^-$ y $HAsO_4^{2-}$ (pKa_1 = 2.3, pKa_2 = 6.9, y pKa_3 = 11.5), esto pudo favorecer la interacción con grupos protonados de la matriz (Zhang et al., 2010).
En el espectro de la matriz LQ-Fe se observan modificaciones similares a la matriz Q-Fe, como un leve desplazamiento del pico de 1643 cm^{-1} del doblez de tijera del grupo amino a 1648 cm^{-1} en el espectro de la matriz LQ-Fe y a 1637 cm^{-1} en el espectro de la matriz LQ-Fe post adsorción de As. Asimismo, el pico correspondiente al grupo Amida II presente en Q a 1585 cm^{-1} presenta un leve desplazamiento a 1151 y a 1560 cm^{-1}, para la matriz LQ-Fe pre y post adsorción de As, respectivamente. Los picos correspondientes a amida I (-NH_2) con flexión simétrica "tijera" de amida I en 1375 y 1417 cm^{-1}, presentan una leve disminución en la matriz LQ-Fe post adsorción de As. Esto pudo deberse a interacciones electroestáticas entre el ión arseniato y el grupo amino presente en la matriz favorecidas por el pH empleado.

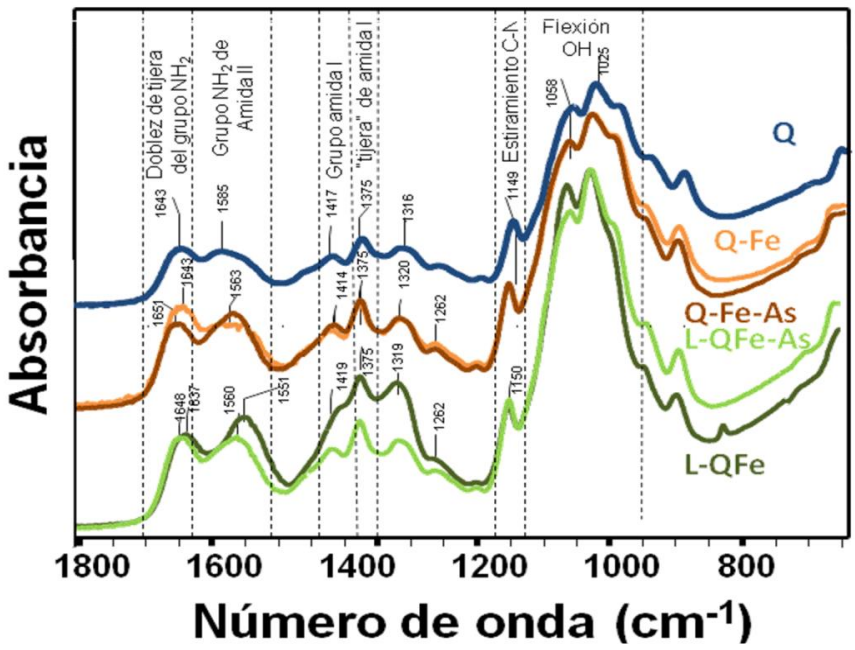


Figura 3. Espectro de absorbancia FTIR-ATR para Quitosano y matrices Q-Fe y LQ-Fe pre y post adsorción de As.

Evaluación de la remoción de Arsénico empleando matrices no porosas Q-Fe y porosas LQ-F. Se evaluó la remoción de 0.3 mg/L de As empleando las matrices sintetizadas. Las concentraciones finales de As obtenidas fueron inferiores al límite establecido por la OMS de 0.01mg/L tanto para matrices Q-Fe como para LQ-Fe. En la Figura 4 se encuentran los porcentajes de remoción y el valor de capacidad de adsorción (q). Como puede observarse el porcentaje de remoción obtenido fue similar: 97.9±0.16 y 97.4±0.19 para matrices Q-Fe y LQ-Fe, respectivamente. La capacidad de adsorción (q) calculada fue levemente superior para matrices Q-Fe 0.29± 0.003 mgAs/g matriz seca respecto de las matrices LQ-Fe (0.22±0.0004 mgAs/g matriz seca).

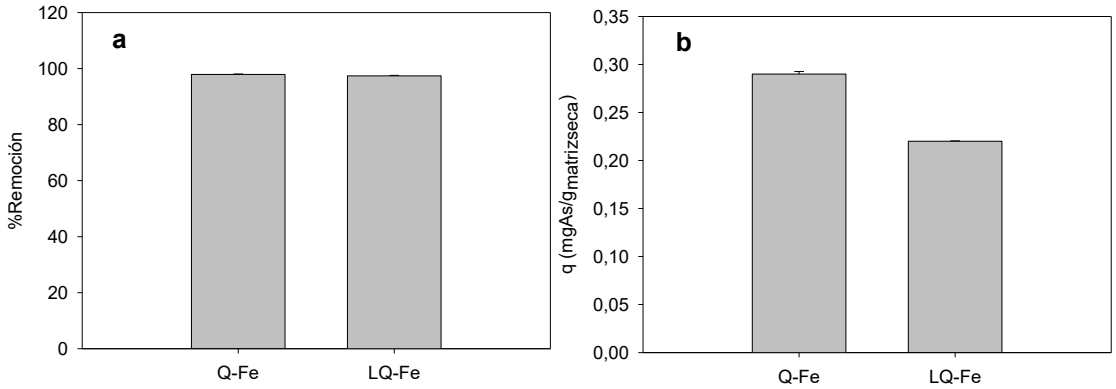


Figura 4. a Porcentaje de remoción de 0.3 mg/L de As inicial. **b.** Capacidad de remoción de As en función del peso seco de matriz empleada (q mgAs/gmatriz seca).

CONCLUSIONES

Se sinterizaron matrices de quitosano con iones férrico mediante gelificación inotrópica (matriz Q-Fe) y liofilización (matriz LQ-Fe). Estas matrices presentaron diferencias en su microestructura, observándose en las matrices liofilizadas una estructura de tipo porosa. Sin embargo, el espectro FTIR en ambas matrices fue similar conservando los picos y bandas característicos de quitosano. En cambio, el espectro FTIR obtenido post adsorción de As presentó variaciones en la intensidad de los picos correspondientes al grupo amino, indicando la posible interacción electroestática entre las matrices Q-Fe y LQ-Fe con As. Finalmente, las matrices sintetizadas fueron efectivas en la remoción de 0.3 mg/L de As obteniéndose valores de As finales debajo de la norma establecida por la OMS (0.062±0.004 y 0.075±0.002 mgAs/L para Q-Fe y LQ-Fe, respectivamente). Las matrices sintetizadas constituyen un material emergente para el desarrollo de sistemas de remoción de As en aguas subterráneas.

Bibliografía

Dragan, E. S. and M. V. Dinu (2020). "Advances in porous chitosan-based composite hydrogels: Synthesis and applications." Reactive and Functional Polymers 146: 104372.

Litter, M. I., A. M. Ingallinella, V. Olmos, M. Savio, G. Difeo, L. Botto, E. M. F. Torres, S. Taylor, S. Frangie, J. Herkovits, I. Schalamuk, M. J. González, E. Berardozzi, F. S. García Einschlag, P. Bhattacharya and A. Ahmad (2019). "Arsenic in Argentina: Technologies for arsenic removal from groundwater sources, investment costs and waste management practices." Science of The Total Environment 690: 778-789.

Marques Neto, J. d. O., C. R. Bellato, J. L. Milagres, K. D. Pessoa and E. S. d. Alvarenga (2013). "Preparation and evaluation of chitosan beads immobilized with Iron(III) for the removal of As(III) and As(V) from water." Journal of the Brazilian Chemical Society 24: 121-132.

OMS (2011). Organización Mundial de la Sald "Guidelines for Drinking-Water Quality." WorldHealth Organization.

Ravenscroft, P., H. Brammer and K. Richards (2011). Arsenic pollution: a global synthesis, John Wiley & Sons.

Shankar, S., U. Shanker and Shikha (2014). "Arsenic contamination of groundwater: a review of sources, prevalence, health risks, and strategies for mitigation." TheScientificWorldJournal 2014: 304524-304524.

UNESCO (2015). "rganización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura Agua para un mundo sostenible." Disponible en https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823/PDF/231823eng.pdf.multi Consultado febrero 2021.

Wang, J., W. Xu, L. Chen, X. Huang and J. Liu (2014). "Preparation and evaluation of magnetic nanoparticles impregnated chitosan beads for arsenic removal from water." Chemical Engineering Journal 251: 25-34.

Zhang, S., H. Niu, Y. Cai, X. Zhao and Y. Shi (2010). "Arsenite and arsenate adsorption on coprecipitated bimetal oxide magnetic nanomaterials: MnFe2O4 and CoFe2O4." Chemical Engineering Journal 158(3): 599-607.

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO Y OPERACIÓN VARIABLE DE ELECTROLIZADOR PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO BASADA EN EL RECURSO EÓLICO*

Gallo, María A., García Clúa, José G.

GCA, Instituto LEICI, UNLP-CONICET - Dpto. de Ing. Química, FI, UNLP
Calle 115, s/n, B1900, La Plata, Buenos Aires. E-mail: angelica.gallo@ing.unlp.edu.ar

Palabras Claves: electrolizador, H_2 renovable, distribución de Weibull, diseño óptimo, operación variable.

1. INTRODUCCIÓN

El hidrógeno (H_2) obtenido a partir de recursos energéticos renovables es valioso por su abundancia, costo decreciente y bajo impacto ambiental. Entre las opciones disponibles y económicamente más viables para su producción renovable, se encuentra la electrólisis del agua basada en el recurso eólico [2]. Los electrolizadores alcalinos constituyen la tecnología más madura para realizar la electrólisis. Se destacan a baja y mediana escala por la eficiencia del proceso y la pureza del gas producido. Pero presentan la desventaja de los rigurosos requerimientos de operación impuestos por el fabricante. La conexión a la red eléctrica puede asistir al electrolizador para compensar la intermitencia y fluctuaciones del suministro de origen renovable. Como contrapartida, esta alternativa no garantiza H_2 libre de emisiones de carbono [3].

La relación de compromiso existente entre grado de pureza y grado de sustentabilidad del H_2 se puede optimizar tanto desde el punto de vista del dimensionado como de la operación del electrolizador [4]. El tamaño que optimiza la producción anual de H_2 limpio fue determinado en [5] para una turbina de viento dada, según la distribución de probabilidad del recurso eólico del lugar, pero considerando únicamente operación nominal del electrolizador. En este trabajo se propone abordar, también en el dimensionado del electrolizador, las condiciones para su operación variable. Se buscará adaptar dichas características a la curva de potencia de la turbina y a las condiciones climáticas imperantes en su lugar de emplazamiento. Asimismo se deberá garantizar cierto grado de pureza del H_2 producido aprovechando la conexión de la red eléctrica, pero minimizando su asistencia para lograr sustentabilidad. Para validar el diseño y modo de operación óptimo se obtienen resultados de simulación del sistema estudiado.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema bajo estudio consta de una turbina tripala de eje horizontal directamente acoplada a un generador sincrónico de imán permanente que alimenta el electrolizador alcalino a cargo de la producción de H_2. La conexión de todos los dispositivos a un bus DC común se realiza mediante convertidores de potencia apropiados. La asistencia de red se inyecta a través del mismo bus como se muestra en el diagrama de bloques de la Fig. 1.

2.1. Potencia entregada por la turbina

La potencia mecánica capturada por la turbina eólica para una velocidad de viento ν que incide con una distribución de probabilidad dada es [6]:

$$p_T = \tfrac{1}{2}\rho A_T C_P(\lambda,\beta)\,\nu^3, \tag{1}$$

*Versión resumida del trabajo presentado en el 27º Congreso Argentino de Control Automático AADECA 2020 [1].

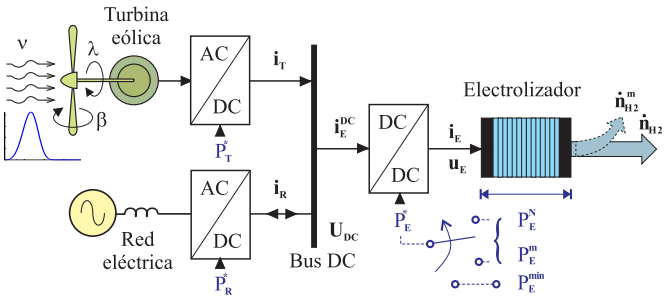


Fig. 1: Esquema del sistema eólico-hidrógeno de operación variable asistido por red.

donde ρ es la densidad del aire, A_T es el área barrida por las palas y C_P es el coeficiente de potencia. Éste último depende de la relación λ entre velocidad lineal de punta de pala y ν, y del ángulo de pala β, presentando un valor máximo $C_{P,max}$ [6]. Sustituyéndolo en (1) se obtiene la potencia máxima P_T para cada velocidad del viento. Se trata de una función cúbica en ν, válida entre la velocidad de viento mínima ν_T^{min} y la nominal ν_T^N de un turbina comercial. Evaluada en ν_T^N resulta la potencia nominal P_T^N especificada por el fabricante. En términos de este parámetro, la expresión de la potencia máxima resulta:

$$P_T(\nu) = P_T^N \left(\frac{\nu}{\nu_T^N}\right)^3, \quad \nu_T^{\text{mín}} \leq \nu \leq \nu_T^N. \tag{2}$$

El convertidor AC-DC que acopla el generador sincrónico de la turbina al bus DC (Fig. 1) puede utilizarse para asegurar el seguimiento de (2) regulando λ en su valor óptimo. Desde ν_N y hasta la velocidad de viento de corte $\nu_{\text{máx}}$ la potencia debe mantenerse constante en el valor nominal de diseño P_T^N. Esto puede asegurarse rotando la palas para incrementar β. Se asume que las estrategias de control aplicadas al actuador de pitch y al convertidor de potencia permiten seguir exactamente la curva de potencia ideal. Las pérdidas eléctricas, magnéticas y mecánicas de turbina-generador-convertidor se desprecian y P_T se considera potencia entregada al bus.

2.2. **Potencia consumida por el electrolizador**

La electrólisis del agua se caracteriza por el comportamiento eléctrico del dispositivo que la genera. El potencial en bornes u_E y la corriente i_E suministrada al electrolizador alcalino se vinculan mediante la expresión empírica:

$$u_E = N\left[U_{rev} + s\ln\left(\tfrac{1}{t}i_E + 1\right) + v\ln\left(\tfrac{1}{w}i_E + 1\right) + \tfrac{r}{A_E}i_E\right] \tag{3}$$

donde N es el número de celdas en serie de la pila del electrolizador, A_E, el área de celda, U_{rev}, el potencial de celda reversible y $\{s,t,v,w,r\}$, coeficientes de irreversibilidades de activación y óhmicas o sobrepotenciales dependientes de la temperatura de electrolito [7].

Dado que cada molécula de $\mathrm{H_2}$ generada requiere la transferencia de dos electrones, la tasa de producción de $\mathrm{H_2}$ $\dot{n}_{H_2}$ es proporcional a la corriente i_E provista. Asimismo, i_E afecta directamente el nivel de pureza definida como la razón entre el gas $\mathrm{H_2}$ producido y el volumen total de la mezcla de gases $\mathrm{H_2}$ y $\mathrm{O_2}$. Por tanto la cantidad y calidad de $\mathrm{H_2}$ óptima se obtiene con la corriente máxima admisible por el electrolizador, que es la nominal I_E^N. Para evitar que la eficiencia y pureza del $\mathrm{H_2}$ desciendan a valores críticos, el electrolizador debe operar por encima de una corriente mínima $I_E^{\text{mín}}$, que típicamente ronda entre el 25 % y el 40 % de I_E^N. Para proteger los electrodos de la corrosión que ocasionarían los continuos arranques y paradas de la operación variable se recomienda la aplicación de una corriente de mantenimiento I_E^m. Ésta permite mantener por días la temperatura y presión de trabajo y reiniciar rápidamente la producción cuando se restablece el suministro renovable [1].

El convertidor DC-DC de la Fig. 1 que acopla el electrolizador al bus de continua es el responsable de regular la corriente i_E en algunos de los valores mencionados, ya sea I_E^m, I_E^{min} o I_E^N. Sustituyendo los mismos en (3) y despreciando pérdidas del convertidor, la potencia requerida al bus puede aproximarse a la siguiente expresión de potencia:

$$P_E^i = I_E^i u_E(I_E^i), \quad i \in \{m, \text{mín}, N\} \tag{4}$$

Cualquier otra potencia regulada por el convertidor entre P_E^{min} y P_E^N definidos en (4) se llama $P_E(I_E)$ y se considera operación variable. No se explicita la dependencia con la temperatura y presión ya que se consideran controles dedicados que las mantienen constantes.

2.3. **Potencia intercambiada con la red**

El convertidor AC-DC de la Fig. 1 que acopla la red trifásica, considerada ideal para este análisis, es el encargado de regular la asistencia eléctrica. Esta puede expresarse en términos de la corriente i_R inyectada al bus DC como consecuencia del desbalance entre la corriente i_E^{DC} demandada por el electrolizador y la corriente i_T entregada por la turbina. Para regular i_R se implementa un lazo de control que comanda la conmutación del convertidor de red [1]. Multiplicando $\{i_R, i_E^{DC}, i_T\}$ por la tensión de bus U_{DC} y despreciando las pérdidas tanto en la generación eólica como en el suministro de red, se obtiene:

$$P_R(\nu) = P_E - P_T(\nu), \tag{5}$$

que es la asistencia requerida para cada velocidad de viento que llega al eje de la turbina según el modo de operación del electrolizador, que es lo que se determinará en la siguiente sección.

3. **DIMENSIONAMIENTO DEL ELECTROLIZADOR EN OPERACIÓN VARIABLE**

La metodología de dimensionamiento del electrolizador se basa en la estimación de la energía extraída de la red considerando las características estocásticas del recurso renovable. El efecto de la incertidumbre asociada con la velocidad del viento se contempla modelando al sistema mediante la distribución de probabilidad de Weibull [5]:

$$F(\nu) = 1 - exp\left(-(\nu/c)^k\right), \tag{6}$$

Siendo k, el factor de forma y c, el coeficiente de escala, propios del sitio donde se ubique la turbina. Otro parámetro, dependiente de c y k, es la velocidad media anual del viento, ν_m:

$$\nu_m = c\,\Gamma(1 + 1/k), \tag{7}$$

Donde Γ es la función gamma. La energía intercambiada con la red se estima en el período $T = 1$ año integrando la potencia ponderada, $P_R(\nu)$ por la densidad de probabilidad $F'(\nu)$:

$$E_R = T \int_0^\infty P_R(\nu)\, F'(\nu)\, d\nu. \tag{8}$$

El objetivo del dimensionamiento es que la energía excedente enviada a la red, en períodos de máxima disponibilidad de viento, sea igual a la que se le suministra al electrolizador en periodos de escasez. Este caso ideal corresponde a un valor nulo, y luego mínimo, de E_R. Al igualar a cero a la ec.(8) y reemplazando a $P_R(\nu)$ por su expresión en la ec.(5), se obtiene:

$$\int_0^\infty P_E(\nu) F'(\nu)\, d\nu - \int_0^\infty P_T(\nu)\, F'(\nu)\, d\nu \equiv 0. \tag{9}$$

La segunda integral se resuelve en partes de acuerdo con los intervalos de velocidad del viento que definen la curva de potencia de la turbina:

$$\int_0^\infty P_T(\nu)\, F'(\nu)\, d\nu = \int_{\nu_T^{\text{mín}}}^{\nu_T^N} \tfrac{1}{2}\rho A \nu^3 C_{P,max} F'(\nu)\, d\nu + \int_{\nu_T^N}^{\nu_T^{\text{máx}}} P_T^N F'(\nu)\, d\nu. \tag{10}$$

Para la resolución de la primera integral, la potencia nominal del electrolizador P_E^N es variable en función de la disponibilidad del viento y se consideran límites de integración definidos por las condiciones operativas del electrolizador. En la Fig. 2 se muestra la curva de potencia del electrolizador (para cierta P_E^N), junto a la de la turbina para distintos modos de operación (MO).

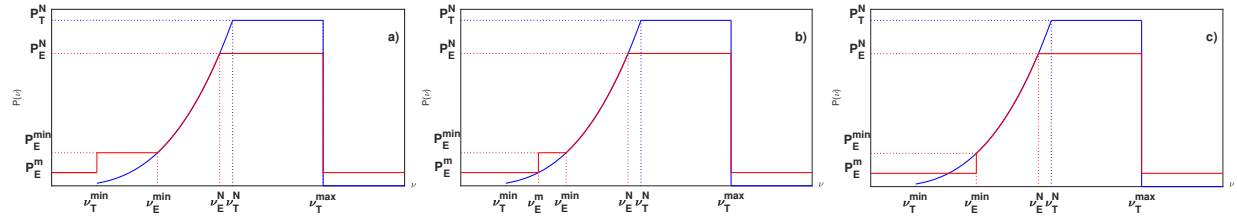


Fig. 2: Curva de potencia de la turbina (azul) y del electrolizador (rojo): a) MO1; b) MO2; c) MO3.

Para la curva de potencia del electrolizador de la Fig. 2a), la primera integral de (9) resulta:

$$\int_0^{\infty} P_E(\nu) F'(\nu)\, d\nu = P_E^m \int_0^{\nu_T^{\text{mín}}} F'(\nu)\, d\nu + P_E^{\text{mín}} \int_{\nu_T^{\text{mín}}}^{\nu_E^{min}} F'(\nu)\, d\nu + \frac{1}{2}\,\rho\, A\, C_{P,max} \int_{\nu_E^{min}}^{\nu_E^N} \nu^3 F'(\nu)\, d\nu + P_E^N \int_{\nu_E^N}^{\nu_T^{\text{máx}}} F'(\nu)\, d\nu + P_E^m \int_{\nu_T^{\text{máx}}}^{10\,\nu_T^{\text{máx}}} F'(\nu)\, d\nu, \tag{11}$$

Las potencias de mantenimiento y mínima del electrolizador, P_E^m y P_E^{min}, respectivamente pueden definirse en términos de la potencia nominal del electrolizador:

$$P_E^m = 10\,\% P_E^N \;,\quad P_E^{min} = 25\,\% P_E^N . \tag{12}$$

Así, la potencia del electrolizador (9), puede reescribirse en términos de P_E^N. El dimensionamiento óptimo se obtiene al establecer la relación entre la potencia nominal del electrolizador y la de la turbina, $r = P_E^N / P_T^N$, dividiendo a ambos lados de (9) por P_T^N y considerando que (1) está evaluada en $C_{P,max}$ y ν_N. Luego, trabajando de forma algebraica se obtiene la expresión (13), donde ν_T^{min} y ν_T^{max} fueron definidas en función de ν_T^N como se muestra en (14).

$$r = \frac{F(\nu_T^{\text{máx}}) - F(\nu_T^N) + \int_{\nu_T^{\text{mín}}}^{\nu_T^N} (\frac{\nu}{\nu_T^N})^3 F'(\nu)\, d\nu - \int_{\nu_E^{\text{mín}}}^{\nu_E^N} (\frac{\nu}{\nu_T^N})^3 F'(\nu)\, d\nu}{0{,}1 + 0{,}15\,[F(\nu_E^{\text{mín}}) - F(\nu_T^{\text{mín}})] + 0{,}9\,[F(\nu_T^N) - F(\nu_E^N)]} . \tag{13}$$

$$\nu_T^{min} = 0{,}25\;\nu_T^N \;,\quad \nu_T^{max} = 2\;\nu_T^N . \tag{14}$$

Para los restantes modos de operación se procede de la misma forma. La relación r se obtiene por resolución numérica y se representa en las Figs. 3 a)-c), en función de ν_T^N / ν_m y de $k = 2, 3$ y 4, para cada modo de operación del electrolizador. En la Fig. 4 se muestran las curvas de dimensionamiento del MO3 para los diferentes valores de k.

4. ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

El dimensionamiento fue realizado considerando potencia variable del electrolizador, P_E y con valores de $P_E^N < P_T^N$. En las Figs. 3 y 4, se observa que a menores valores de P_E^N mayor será ν_T^N con respecto a la velocidad media anual ν_m del viento. Hacia relaciones de ν_T^N / ν_m mayores existe un sobredimensionamiento de la turbina. En esa región (Fig. 4), se observa que la potencia P_E^N es más sensible al factor k comparado con los resultados obtenidos en [5]. Hacia valores de P_E^N / P_T^N cercanos a uno, la ν_T^N se aproxima a ν_m garantizando un mejor aprovechamiento de la capacidad de la turbina. En la Fig. 4, esto se ve favorecido por la menor sensibilidad de k con la potencia óptima P_E^N.

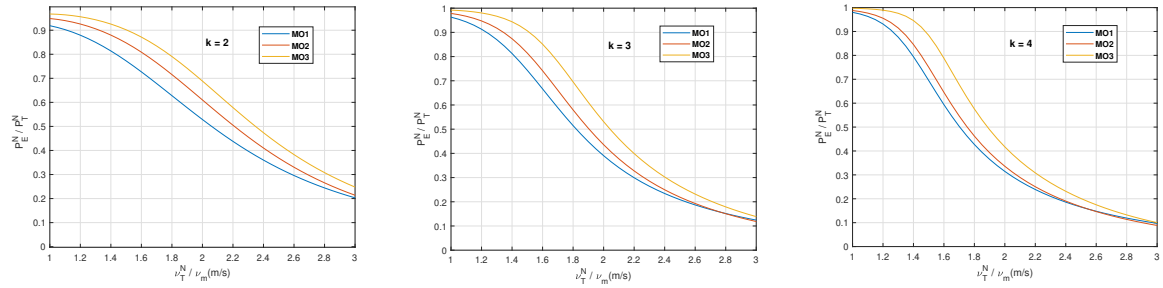


Fig. 3: Relación de potencias nominales entre el electrolizador y la turbina que compensarían la potencia suministrada por la red para: a) k = 2; b) k = 3; c) k =4.

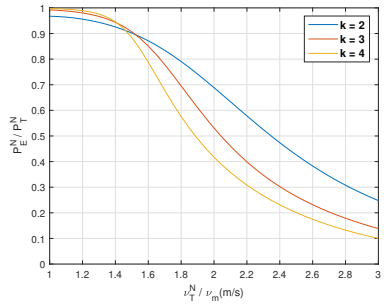


Fig. 4: Relación de potencias nominales entre el electrolizador y la turbina que compensarían la potencia suministrada por la red en el MO3 para los diferentes valores de k.

En el modo de operación MO3 se alcanzan mayores valores de P_E^N/P_T^N para los k propuestos (Figs. 3a, b y c). Además, para $k = 2$ (Fig. 3a), en aproximación a los extremos del rango de ν_T^N/ν_m hay mayor diferencia entre los valores de P_E^N/P_T^N, con respecto a los de los otros k (Figs. 3b y c). Para $k > 2$ se obtienen relaciones P_E^N/P_T^N similares en los 3 modos de operación en aproximación a valores superiores del rango de variación de ν_T^N/ν_m (Figs. 3b y c).

En la Fig. 4 para potencias P_E^N alrededor de 0.95 veces la potencia nominal de la turbina nominal, P_T^N, la dependencia con el factor de forma k es mínima para valores de $k > 2$. Esta misma condición se cumple en resultados obtenidos en [5], pero para potencias 0.43 veces la potencia nominal de la turbina, y para los mismos considerados en este trabajo. Por otra parte, con respecto al rango 1.66-1.77 de ν_T^N/ν_m recomendado [8], la relación P_E^N/P_T^N es elevada (Fig. 4), variando desde 0.73 a 0.85 (límite inferior) hasta 0.61 a 0.81 (límite superior).

5. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Se simuló el modelo del sistema de producción de $\mathrm{H_2}$ con el fin de validar el diseño y modo de operación óptimo teórico determinados en la sección 3. La interfaz gráfica del simulador [1] representa con fuentes de corrientes la dinámica del bus, ec.(5). La señal de viento actúa como entrada independiente generada aleatoriamente con distribución de Weibull cada 12h en un año. Ésta ingresa al bloque de potencia de la turbina que contiene los parámetros P_T^N=1,5 MW y ν_T^N=10 $\mathrm{m/s}$. Respecto al electrolizador, tanto el parámetro P_E^N como los cambios de operación se dejan libres para verificar su efecto en la potencia intercambiada con la red. Ésta actúa como salida que debe integrarse para determinar la energía anual, E_R. Este valor se registra para comparar las distintas ejecuciones. Se considera óptima la que lo anula con el mayor valor de P_E^N. Para minimizar la cantidad de ejecuciones, por cada modo de operación se consideran 10 valores de r en [0 1] y uno representativo de ν_T^N/ν_m. El paso de simulación fue 1 h. Los resultados obtenidos para $v_m = v_T^N/2$ y k = 1, 2 y 3 se muestran en la Fig. 5a) y b), respectivamente. A iguales condiciones de viento, el modo de operación MO3 es el que anula la energía de la red con mayor relación de potencia, seguido por el MO2 y luego el MO1.

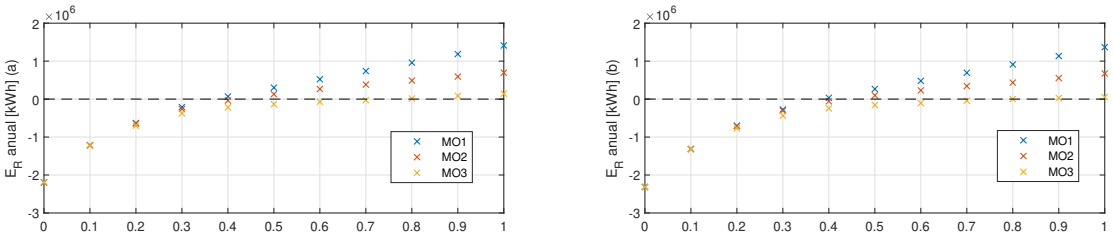


Fig. 5: Resultados de simulación para vientos anuales con $v_m = v_T^N/2$ y (a) $k = 2$ y (b) $k = 3$.

6. CONCLUSIONES

Las tres condiciones operativas variables permiten obtener valores más elevados de P_E^N/P_T^N que los reportados para condiciones nominales fijas [5], lo que implica un mayor aprovechamiento de la capacidad de la turbina para producir $\mathrm{H_2}$ renovable. El dimensionamiento del electrolizador en el modo MO3, para los tres valores de k considerados y en el rango 1.66-1.77 de ν_T^N/ν_m recomendado [8], permite obtener valores de P_E^N/P_T^N, aproximadamente, 1.4 veces mayores que los obtenidos en [5]. A valores de $\nu_T^N/\nu_m < 1{,}42$, estos resultados se ven favorecidos por una menor sensibilidad para valores de $k > 2$, que implica menor sensibilidad a las condiciones climáticas del lugar donde se encuentre emplazada la turbina. A futuro, se continuará con el dimensionamiento del electrolizador considerando la posibilidad de incorporar más celdas, lo que permitiría analizar si es posible determinar un número óptimo de electrolizadores cuyas distintas conexiones internas garanticen la sustentabilidad del sistema.

AGRADECIMIENTOS. Este trabajo fue subsidiado por UNLP (11/I258), CONICET y el Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UNLP.

REFERENCIAS

[1] M. Gallo and J. García Clúa, "Optimización del diseño y operación variable de electrolizador para la producción de h2 basada en el recurso eólico," in *27º Congreso Argentino de Control Automático (AADECA 2020 virtual)*, Universidad de Palermo, CABA, 2020, pp. 495–500.

[2] D. Chade, T. Miklis, and D. Dvorak, "Feasibility study of wind-to-hydrogen system for arctic remote locations - grimsey island case study," *Renewable Energy*, vol. 76, pp. 204–211, 2015.

[3] J. García Clúa, H. De Battista, and R. Mantz, "Control of a grid-assisted wind-powered hydrogen production system," *Int J Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 11, pp. 5786–5792, June 2010.

[4] A. Maleki and A. Askarzadeh, "Comparative study of artificial intelligence techniques for sizing of a hydrogen-based stand-alone photovoltaic/wind hybrid system," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 19, pp. 9973 – 9984, 2014.

[5] J. G. G. Clúa, R. J. Mantz, and H. D. Battista, "Optimal sizing of a grid-assisted wind-hydrogen system," *Energy Conversion and Management*, vol. 166, pp. 402 – 408, 2018.

[6] F. Bianchi, H. De Battista, and R. Mantz, *Wind Turbine Control Systems*. Springer, 2007.

[7] A. Ursúa and P. Sanchis, "Static dynamic modelling of the electrical behaviour of a commercial advanced alkaline water electrolyser," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 24, pp. 18 598 – 18 614, 2012, 2011 Int. Work. on Molten Carbonates & Related Topics.

[8] T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe, and E. Bossanyi, *Wind Energy Handbook*, 2nd ed. Wiley, 2011.

OZONO GASEOSO COMO AGENTE PRESERVADOR EN CARNE BOVINA: EFECTO SOBRE LAS CARACTERISTICAS FISICOQUÍMICAS Y LA FLORA MICROBIANA NATURAL Y PATÓGENA

Giménez Maria B (1), Graiver Natalia G. (1), Giannuzzi Leda (1), Zaritzky Noemí (1,2)

(1) Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), CONICET, Fac. de Ciencias Exactas, UNLP, La Plata, Buenos Aires Argentina.
(2) Depto. Ingeniería Química, Fac. de Ingeniería, UNLP, La Plata, Buenos Aires Argentina.
belengimenez@live.com.ar, nataliagraiver@hotmail.com, zaritzkynoemi@gmail.com

Palabras claves: ozono gaseoso, carne bovina, *Listeria monocytogenes*, oxidación lipídica

INTRODUCCIÓN

Dentro de las tecnologías no térmicas utilizadas para conservar alimentos, manteniendo la seguridad y calidad del producto, se encuentra el tratamiento con ozono gaseoso. El ozono es un potente oxidante y agente de desinfección y tiene como ventajas su baja toxicidad, sus propiedades como desinfectante, desodorizante y la escasez de residuos al finalizar el proceso; tiene actividad antimicrobiana contra una variedad de patógenos transmitidos por los alimentos ya que actúa sobre diferentes constituyentes celulares, desorganizando las paredes y membranas, llevando a la lisis celular. Food and Drug Administration (FDA) reconoció al ozono como GRAS (Generally Recognized As Safe) para su utilización en contacto con alimentos y se aprobó la utilización del ozono como aditivo de alimentos, durante su procesamiento o almacenamiento (Kim y col., 1999) para la preservación de frutas, verduras y carne. El ozono puede llegar a perjudicar la calidad de las carnes debido a que puede oxidar fácilmente los tejidos musculares, producir decoloraciones indeseables y dar lugar a sabores rancios en los tejidos grasos (Clark y Takacs, 1980).

Entre los microorganismos patógenos *Listeria monocytogenes* es capaz de sobrevivir a temperaturas de refrigeración, crecer a 4ºC en pocos días y sobrevivir a altas concentraciones de NaCl (16-20%) siendo un serio problema de salud púbica. Ha demostrado una alta capacidad para resistir altas y bajas temperaturas, atmósfera modificada y ambientes de procesamiento, su presencia indica una posible contaminación durante el procesamiento y posprocesamiento de alimentos (Magalhães y col., 2016). *L. monocytogenes* es mundialmente responsable de más de 20000 enfermedades y 5000 muertes por año y su inactivación es extremadamente importante para garantizar productos alimenticios microbiológicamente seguros. En algunos países se han establecido criterios o recomendaciones para niveles tolerables de *L. monocytogenes* en alimentos procesados. Las regulaciones de seguridad alimentaria en la Unión Europea establecen un máximo de 100 UFC g^{-1}*L. monocytogenes* para los productos listos para consumir durante su vida útil (Reglamento de la Comisión, 2005), mientras que el criterio en EE. UU. es de "tolerancia cero", es decir, no encontrar organismos en 25 g de un producto alimenticio (Shank y col. 1996; USDA-FSIS, 2014). Se tolera un nivel de no más de 100 UFC g^{-1} en ciertos productos alimenticios, mientras que se aplica tolerancia cero a los alimentos que favorecen el crecimiento de *L. monocytogenes* y tienen una vida útil prolongada (AFSSA 2000).

Los objetivos del trabajo fueron i) analizar el efecto de ozono gaseoso sobre el desarrollo de flora natural heterótrofa y *L. monocytogenes* inoculada en carne bovina y almacenada en condiciones de refrigeración; ii) estudiar el efecto de los tratamientos sobre las características fisicoquímicas y parámetros de calidad (coloración, oxidación lipídica)

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima: Se utilizaron cortes de los músculos *aductor femoris y semimembranoso* de carne bovina que se separaron luego de 48 horas postmortem y se eliminó grasa visible y se extrajeron discos (diámetro 6 cm y espesor 3 mm); el pH se encontraba entre 5.4 y 5.7.

Tratamiento con ozono gaseoso: el generador de ozono (Dobzono, modelo Ozolab100) produce ozono mediante una tensión eléctrica (llamada "efecto Corona"). Consiste en aplicar un alto voltaje (del orden de kV) entre dos electrodos por los que se hace pasar oxígeno (o

aire). Los ensayos de ozonización se llevaron a cabo en cámaras de 3 L de volumen diseñadas utilizando recipientes de vidrio herméticos. Se implementó un sistema de cierre del pasaje de gas en las conducciones conectadas al generador de ozono para controlar el flujo del mismo y de salida de gas de la cámara para mantener una atmósfera constante dentro de la misma. El ozonizador fue alimentado con aire a un caudal de 2 L/min

Ensayos de aplicación de ozono en muestras de carne: el sistema generador de ozono que se utilizó en todos los ensayos es de tipo semi-continuo, generando ozono durante un tiempo máximo de 10 minutos. Se realizaron ensayos en los cuales las variables fueron: i) concentración de ozono utilizada en la cámara (rango entre 276-286 mg O_3/m^3) ii) número y duración de los pulsos de ozono aplicados. Mediante la introducción del ozono se realizó un barrido del aire presente en la cámara. La concentración de ozono se determinó analíticamente mediante una titulación iodométrica. Se suministró un flujo de ozono a una temperatura controlada de 4ºC. Las muestras de carne se suspendieron en forma vertical dentro de la cámara para que el ozono entre en contacto con toda su superficie. Se aplicaron pulsos de ozono de 5, 10, 20, 40 minutos durante de 5 horas con intervalos sin tratamiento de 30 minutos. Las muestras quedaron 24 horas en contacto con el ozono remanente; la descripción de cada tratamiento se indica en la **Tabla 1**.

Tabla 1: Tratamientos aplicados con ozono gaseoso.

Código	*C ozono (mg/m^3)*	*Pulsos de ozono (min)*	*Nº de pulsos aplicados*	*Intensidad tratamiento (It)*
D5*	*276*	*5*	*10*	*36.66*
D10*	*283*	*10*	*8*	*58.66*
D20*	*283*	*20*	*6*	*87.98*
D40*	*283*	*40*	*5*	*146.64*

En cada caso se calculó la intensidad de tratamiento (It) de ozono como: $It = \int C*V\, dt$, donde C, es la concentración de ozono y V el volumen de la cámara.

Preparación del inóculo y proceso de inoculación: Se estudió el efecto del tratamiento con ozono sobre el crecimiento de *L. monocytogenes* mediante la inoculación de cepas. Los ensayos se realizaron con muestras que fueron inoculadas con una cepa L261 (cultivo proporcionado por la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de La Plata, UNLP). Inicialmente, la cepa se mantuvo congelada a -80ºC en TSB (Tryptic Soy Broth, Biokar) con 30% de glicerol. Para su activación luego de descongelar, se tomó 1 mL del cultivo, se sembró en un tubo con 9 mL de TSB y se incubó por 24 h a 37 °C. Al día siguiente, se tomó 1 mL del caldo de cultivo y se realizaron 3 repiques. Cada muestra de carne se inoculó individualmente con 100 µl de *L. monocytogenes* (concentración de inóculo de 10^3 UFC mL^{-1}) en muestras de carne que fueron sometidas a tratamiento con ozono. El tratamiento de ozonización ensayado correspondió al protocolo D5 (**Tabla 1**).

Análisis microbiológicos: Semanalmente se analizó el desarrollo microbiano de *L. monocytogenes* en los productos mediante recuento en placa en agar PALCAM, que contiene cloruro de litio, polimixina B, acriflavina y ceftazidima. Las muestras de carne vacuna inoculadas (10 g) se transfirieron asépticamente a bolsas Stomacher estériles, se diluyeron y se homogeneizaron. Las bacterias se sembraron y las placas se incubaron durante 24 horas a 37°C. Se utilizó para los ensayos microbiológicos carne fresca inoculada como control; las pruebas se realizaron por duplicado. En PALCAM Agar, las colonias de *L. monocytogenes* aparecen de color gris verdoso con un precipitado negro. Se analizó además el efecto del ozono sobre la flora heterotrófica natural presente (no inoculada) en carne vacuna (recuentos de hongos y levaduras, bacterias ácido lácticas, bacterias mesófilas y enterobacterias). Las muestras de carne sin ozonizar se consideraron control. Se realizó el recuento en placa de microorganismos mesófilos totales (Plate Count Agar, PCA, Biokar, 30°C, 48 h), psicótrofos totales (PCA, 4°C, 7 días), Enterobacteriaceae (Violet Red Bile Agar, AVRB, Biokar 37°C, 24 h), bacterias ácido lácticas, LAB (MRS, 30 °C, 48 h); mohos y levaduras (Agar Cloranfenicol Glucosa, YGC, Biokar, 5 días, 30°C). Los recuentos microbianos se realizaron inmediatamente después de la aplicación del tratamiento de ozono y durante el almacenamiento refrigerado a 4°C (cada 4 días) de las muestras de carne vacuna envasadas al vacío.

Determinación de parámetros de color. Se realizó con un colorímetro triestímulo Minolta C400 el cual utiliza la escala de color CIE Lab*, mediante la cual el color es descripto por los parámetros de luminosidad L*, y de cromaticidad a* y b*. Las determinaciones se realizaron semanalmente sobre 3 rodajas de carne, obteniendo 6 medidas para cada muestra.
Oxidación lipídica. Se evaluó la oxidación de lípidos en muestras control y en muestras ozonizadas por duplicado utilizando el método de ácido tiobarbitúrico (TBA) que reporta sustancias reactivas a TBA (TBARS) como mg.malonaldehído (MDA) Kg^{-1} producto.
Almacenamiento refrigerado. Para evaluar la vida útil durante el almacenamiento refrigerado, se almacenaron muestras tratadas con ozono (tratamiento D5) a 4ºC. Para ello las muestras de carne control y las muestras tratadas se envasaron individualmente al vacío en bolsas Cryovac BB4L (Sealed Air, Buenos Aires, Argentina. Durante todo el período de almacenamiento, el color, la oxidación de lípidos y los recuentos microbianos se midieron semanalmente durante 12 a 16 días. En el caso de las muestras inoculadas con *L. monocytogenes*, las muestras se almacenaron a 4ºC.
Análisis estadístico. Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software SYSTAT (SYSTAT Inc., 1990, v. 10.0). Las diferencias significativas entre las medias fueron determinadas por el método de la menor diferencia significativa, LSD ($P<0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelado matemático de la evolución de la concentración de ozono en la cámara de ozonización: se planteó la ec. (1) que permite predecir la concentración de ozono en función del tiempo C (t) en la cámara de ozonización basada en un balance de materia no estacionario. Se consideró como valor asintótico a la concentración de ozono en la cámara que no difería en más del 10% de la concentración de ozono en la entrada.

Una corriente Q proveniente del ozonizador con una concentración de ozono Ce (mg O_3/m^3) ingresaba a la cámara de ozonización de volumen V conteniendo inicialmente aire, resultando:

$$V\frac{dC}{dt} = Q(Ce - C(t)) \quad (1)$$

Integrando resulta: $$\ln\frac{Ce - C}{Ce - Co} = \frac{Q}{V}t \quad (2)$$

donde Co=0 es la concentración inicial de ozono en la cámara. Si se considera mezclado perfecto, la concentración de ozono a la salida (C (t)) coincide con la concentración dentro de la cámara. Considerando que la cámara de ozonización tenía: V=3 litros; Q= 2.2 L/h, densidad del ozono= 2.14Kg/m^3, se pudo predecir la concentración de ozono en función del tiempo en la cámara de ozonización de acuerdo a la ecuación

CO_3=283,6* (1-exp (-0.318 t)) (3)

Los valores calculados con la ec.3 muestran que luego de 30 segundos la concentración en la cámara fue 86.9 mg/m3 y luego de 600 segundos (10 minutos) la concentración llegaba a un estado estacionario 286 mg O_3/m^3.
Efectos del ozono en el desarrollo microbiano y parámetros de calidad de la carne: Se observó la influencia de la intensidad de tratamiento (It) de ozono sobre los distintos parámetros estudiados y en el desarrollo microbiano.
Color: en la **Fig. 1** se presentan los resultados de la variación color superficial (ΔL*, Δa*, Δb*, ΔE y relación $[(a^*/b^*)-(a^*/b^*)_0]$) de las carnes tratadas con ozono utilizando los valores de la carne fresca como referencia (L_0^*, a_0^*, b_0^*). Puede observarse que las muestras **D5** tratadas con una concentración de ozono de 276 mg O_3/m^3 presentaron los menores valores de Δa*, correspondiente a la variación de la coloración rojiza respecto a la carne sin tratamiento, indicando que la ozonización no modificó apreciablemente la coloración de la carne. Sin embargo, las muestras **D40** donde la intensidad del tratamiento fue mayor, el parámetro a* se modificó en forma significativa ($p<0.05$) disminuyendo casi a la mitad respecto del control (23.65±0.43) obteniéndose un valor promedio de a* de 12.23±0.13; este valor de a* no es aceptado por el consumidor, y se atribuye a la oxidación de la mioglobina a metamioglobina

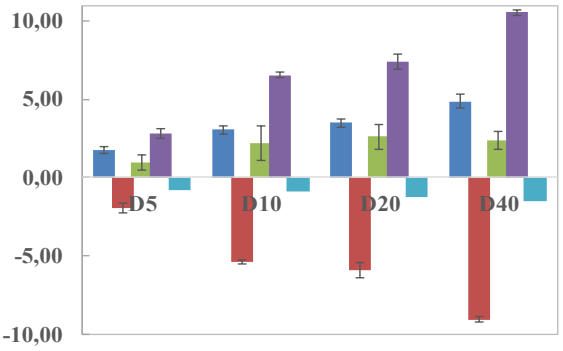


Figura 1: Efecto del ozono sobre los parámetros de color: ΔL *(■), Δa*(■), Δb*(■), ΔE (■) y relación [(a*/b*)-(a*/b*)$_0$] (■).

Tabla 2: Efecto del tratamiento con ozono sobre la oxidación lipídica en muestras cárnicas.

Tratamiento	Oxidación lipídica (TBARS)
CF	0.7274±0.2052^{a}
D5	0.7381±0.0233^{a}
D10	1.1677±0.0086^{a,b}
D20	1.4248±0.0331^{b,c}
D40	1.7026±0.1718^{c}

Letras distintas indican resultados que difieren significativamente (p<0. 05).

Oxidación lipídica: la acción oxidante del ozono puede llegar a perjudicar la calidad de las carnes aumentando la rancidez. Los valores obtenidos de rancidez, expresados como mg de malonaldehído /Kg de carne se presentan en la **Tabla 2**. De los resultados obtenidos pudo determinarse que no hay una diferencia significativa entre las carnes tratadas con ozono circulando durante 5 minutos (**D5**) (concentración 276 mg/m^3) y la carne sin tratamiento. Los tratamientos de ozonización durante el rango entre 10-40 minutos (**D10**, **D20** y **D40**, con una concentración 283 mg O_3/m^3), presentaron valores por encima del límite de rancidez de productos cárnicos (1 mg MDA/Kg según Boles y Parrish 1990) alcanzando valores de 1.7026 mg MDA/kg para 40 minutos de tratamiento, lo cual resulta inaceptable. Se puede concluir que tiempos excesivos de contacto con una concentración de ozono de 286 mg/m^3 resulta perjudicial en la muestra tanto desde el punto de vista de la coloración superficial como de la oxidación lipídica.

Recuentos de microorganismos heterótrofos: se investigó el efecto del ozono en los recuentos inmediatamente posterior a la aplicación del tratamiento. El ANOVA realizado, indicó que los 2 factores estudiados (concentración de ozono dentro de la cámara y la intensidad de tratamiento (It) tuvieron un efecto significativo (p<0.05) en la reducción de los recuentos obtenidos de bacterias mesófilas (M), bacterias ácido-lácticas (BAL), enterobacterias (E) y hongos y levaduras (H y L). En la **Tabla 3** se observa que las reducciones de los recuentos en las carnes con tratamiento de ozonización fueron mayores a medida que aumentaba la intensidad de tratamiento (It) obteniéndose reducciones de más de 1 ciclo logarítmico para todas las bacterias ensayadas. Se puede concluir que los efectos más significativos en la reducción de los recuentos microbianos se encontraron en los tratamientos con un mayor tiempo de exposición al ozono (**D20, D40**), pero sin embargo esta exposición al ozono afectaba negativamente a los parámetros de color y rancidez.

Definición del tratamiento óptimo con ozono: debido a que un excesivo tratamiento con ozono afecta negativamente los parámetros de color y la oxidación lipídica, se buscó el tratamiento óptimo en función de las características deseadas en el producto: reducción de microorganismos, baja oxidación lipídica (TBARS <1 mgMDA/g carne) y una variación del color (Δa* por debajo de 5). Respetando estas condiciones se encontró que tratamientos con ozono utilizando una concentración de aproximadamente 276 mgO_3/m^3 con pulsos de 5 minutos de tratamiento cada 30 minutos durante un periodo de 5 horas (**D5**), lograron mantener las características fisicoquímicas de la carne en valores aceptables obteniendo reducciones de la carga microbiana cercanas a 1 ciclo logarítmica

Tabla3: Recuentos de la flora heterótrofa en las muestras control (**CF)** y en carne vacuna tratado con 276-286 mgO_3/m^3 durante los distintos periodos de tratamiento.

Muestras	M (Log UFC/g)	BAL (Log UFC/g)	E (Log UFC/g)	H y L (Log UFC/g)
CF	3.69±0.05^{d}	2.84±0.08^{c}	2.34±0.18^{c}	<2
D5	3.33±0.14^{c}	2.11±0.06^{b}	<2	<2
D10	3.00±0.07^{b}	2.22±0.13^{b}	<2	<2
D20	2.54±0.05^{a}	<2	<2	<2
D40	2.56±0.08^{a}	<2	<2	<2

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (p<0.05); los valores promedio ± Error estándar de la media.

Almacenamiento refrigerado de muestras ozonizadas: Durante el almacenamiento refrigerado a 4°C, los parámetros de color a*, L* y b* no mostraron diferencias significativas (P>0.05) entre las muestras de carne fresca y ozonizada. El parámetro a* disminuyó significativamente durante el almacenamiento; en carne fresca el valor inicial fue a*=23.22±0.85, y el valor final, a los 16 días fue a*=11.99±0.50. En el caso de la carne tratada con ozono (tratamiento D5) el valor inicial fue a*=17.99±0.62, disminuyendo después de 1 semana (a*=15.05±0.41) y después de 16 días a*=11.10±0.62. No se encontraron diferencias significativas (P>0.05) en la oxidación de lípidos durante el almacenamiento refrigerado; el valor promedio de TBARS fue 0.640±0.034 mg MDA Kg^{-1} carne. Este es un valor aceptable debido al corte magro de carne vacuna que se utilizó. Además, se analizó la vida útil de la carne vacuna tratada con ozono durante el almacenamiento refrigerado. La **Tabla 4** muestra que el crecimiento de microorganismos en las muestras tratadas con ozono fue menor que en la carne fresca. La fuerte capacidad oxidante del ozono puede inducir la destrucción de las paredes celulares y las membranas citoplasmáticas de las bacterias. El ozono puede atacar los componentes principales de las células, e interrumpir o inhibir el sistema enzimático de la célula (Sheng y col., 2018). Estos cambios aumentan la permeabilidad de la membrana, lo que resulta en el cese funcional del sistema celular y el crecimiento normal de microorganismos (Aponte y col., 2018).

Tabla 4: Desarrollo de microorganismos durante el almacenamiento refrigerado a 4ªC de la carne Fresca (CF) y la carne tratada con ozono (CO).

Muestra	Tiempo (días)	Mesófilas	BAL	Enterobacterias	Hongos y levaduras	Psicotrofilas
Carne fresca	**0**	5.00±0.07^{b}	2.63±0.28^{a,b}	2.34±0.72^{a}	3.53±0.13^{c}	4.03±0.64^{a}
	4	6.45±0.35^{d}	3.74±0.07^{c}	3.59±0.20^{c}	4.18±0.22^{d}	6.10±0.53^{c}
	8	7.40±0.11^{e}	4.82±0.06^{d}	5.13±0.34^{d}	4.62±0.60^{e}	7.54±0.13^{d}
	12	9.54±0.16^{f}	5.73±0.08^{e}	6.31±0.10^{e}	6.52±0.25^{f}	8.47±0.21^{e}
Carne ozonizada	**0**	4.26±0.12^{a}	2.36±0.14^{a}	2.34±0.15^{a}	2.56±0.17^{a}	4.53±0.28^{a}
	4	5.27±0.15^{b}	2.71±0.04^{a,b}	2.36±0.04^{a}	2.76±0.06^{a,b}	5.20±0.15^{b}
	8	5.82±0.23^{c}	2.78±0.10^{b}	2.93±0.02^{b}	3.14±0.13^{b,c}	5.1±0.25^{b,c}
	12	6.07±0.07^{c,d}	2.98±0.05^{b}	3.88±0.17^{c}	4.15±0.11^{d}	6.15±0.07^{c}

Durante el almacenamiento refrigerado a 4ºC, las muestras de carne control mostraron recuentos microbianos más altos que las muestras ozonizadas D5 (**Tabla 4**). Teniendo en cuenta los límites microbiológicos para la carne envasada al vacío (recuento total viable <10^6 UFC / g, Enterobacteriaceae <10^4 UFC / g se puede observar que las muestras de control perdieron las condiciones sanitarias tras 4 días de almacenamiento a 4 ºC frente a una vida útil de 8 días en las muestras ozonizadas.

Efecto del tratamiento con ozono sobre *Listeria monocytogenes*: Los resultados se presentan en la **Tabla 5;** los recuentos microbianos de las muestras cárnicas inoculadas sin tratamiento con ozono fueron considerados como control (CF). Los recuentos de *L. monocytogenes* en la carne antes del tratamiento con ozono fue 2 log UFC/g. Se observó una disminución de los recuentos en las muestras tratadas, siendo esta disminución de más de 1 ciclo logarítmico con respecto a la muestra sin tratar. Esta condición se mantuvo durante el almacenamiento refrigerado de las muestras inoculadas, lo que podría demostrar que hay un efecto del ozono sobre *L. monocytogenes* que impide su crecimiento normal. Debe destacarse que la carne fresca inoculada sin tratamiento de ozono, envasada al vacío y almacenada a 4°C presentó un incremento de los recuentos de *L. monocytogenes* llegando a valores mayores de 10^5 UFC/g luego de 16 días mientras que las tratadas con ozono los recuentos se mantuvieron menores a 10^2 UFC/g

Tabla 5: Efecto del tratamiento con ozono sobre la inactivación de *L. monocytogenes* en muestras cárnicas inoculadas y almacenadas a 4ºC.

	***L. monocytogenes* (log UFC/g)**	
Almacenamiento a 4ºC (días)	**CF**	**Carne ozonizada D5**
0	2.03±0.07a	<2
4	3.19±011	<2
8	3.84±0.07c	<2
12	5.10±0.29c	<2
16	6.70±0.20	<2

Letras distintas indican resultados que difieren significativamente (p<0.05)

CONCLUSIONES

Se diseñó una cámara de ozonización y modeló matemáticamente mediante un balance de materia no estacionario la evolución de la concentración de ozono dentro de dicha cámara en función del tiempo. Se logró disminuir hasta 1.5 ciclos logarítmicos el recuento de heterótrofos (bacterias ácido-lácticas, mesófilos y enterobacterias) utilizando ozono gaseoso en un rango de concentraciones de 276-286 mg O_3/m^3 en las muestras cárnicas. Los períodos prolongados de exposición al ozono (> 10 min) afectaron negativamente el color rojo y la rancidez oxidativa. El tratamiento óptimo (D5, pulsos de 5 min cada 30 min durante 5h) permitió la reducción de más de 1 ciclo logarítmico el recuento de *L. monocytogenes* inoculada, limitando su crecimiento durante el almacenamiento refrigerado a 4ºC y manteniendo los parámetros de seguridad (crecimiento de flora heterótrofa natural) y calidad (estabilidad oxidativa y parámetros de color).

BIBLIOGRAFÍA

Aponte, M., Anastasio, A., Marrone, R., Mercogliano, R., Peruzy, M. F. Murru, N. (2018). "Impact of gaseous ozone coupled to passive refrigeration system to maximize shelf-life andquality of four different fresh fish products." LWT Food Science and Technology 93: 412-419

Boles J.A. y Parrish F.C. Jr. (1990). Sensory and chemical characteristics of precooked microwave-reheatable pork roasts. Journal of Food Science 55: 618-620.

Bridges, D. F., B. Rane, Wu, V. C. (2018). The effectiveness of closed-circulation gaseous chlorine dioxide or ozone treatment against bacterial pathogens on produce. Food Control 91: 261-267.

Clark, D.S.Takacs, J.(1980). Gases as preservatives. In: Microbial Ecology of Foods I. Factors Affecting Life and Death of Microorganisms. J.H.

Kim, J. G., Yousef, A. E., & Dave, S. (1999). Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review. Journal of Food Protection, 62(9), 1071–1087.

Magalhães, R., Ferreira, V., Brandão, T. R., Palencia, R. C., Almeida, G. & Teixeira, P. (2016). "Persistent and non-persistent strains of Listeria monocytogenes: A focus on growth kinetics under different temperature, salt, and pH conditions and their sensitivity to sanitizers." Food microbiology 57: 103-108.

Shank, F. R., Elliot, E. L., Wachsmuth, I. K. & Losikoff, M. E. (1996) US position on Listeria monocytogenes in foods. Food Control 7, 229–234.

Sheng, L., Hanrahan, I., Sun, X., Taylor, M. H., Mendoza, M. & Zhu, M.J. (2018). Survival of Listeria innocua on Fuji apples under commercial cold storage with or without low dose continuous ozone gaseous. Food Microbiology 76: 21-28.

USDA/FSIS (2014). Compliance guidelines to control Listeria monocytogenes in postlethality exposed ready-to-eat meat and poultry products. Washington D.C.: US Department of Agriculture.

Estudio del equilibrio químico de la reacción de síntesis de solketal a partir de glicerol y acetona

Perez Federico M., Pompeo Francisco, Nichio Nora N.

Laboratorio de Ingeniería Quimica, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, 1 esq. 47, 1900, La Plata, Argentina.

E-mail: federico.perez@ing.unlp.edu.ar.

Palabras clave: equilibrio, glicerol, acetalización, biomasa

1. Introducción

El glicerol puede ser transformado en diversos compuestos químicos de interés industrial con el objetivo de aumentar la cadena de valor de la producción de biodiesel. En particular, el solketal (2,2-dimetil-1,3-dioxolan-4-il) metanol, es uno de los productos más novedosos que se obtiene de la reacción del glicerol con acetona. Como productos de esta reacción se obtienen, además, su isómero (2,2-dimethyl-1,3-dioxan-5-ol) y agua (**Figura 1**).

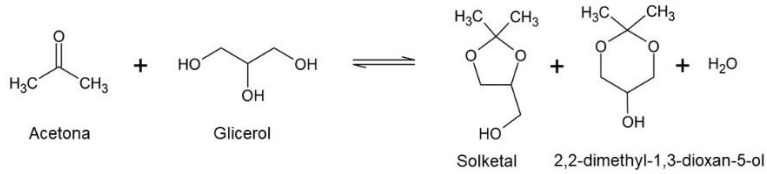


Figura 1. Reacción de formación de solketal a partir de glicerol y acetona.

Diferentes autores han estudiado experimentalmente la reacción de síntesis de solketal utilizando una amplia variedad de catalizadores ácidos, obteniendo selectividades a solketal superiores al 96% [1-3]. Estos resultados demuestran que la formación del anillo de 6 miembros es más desfavorable que la formación del anillo de 5 miembros, sin importar el sólido empleado, hecho que fue estudiado por Ozorio y col. a través de cálculos teóricos DFT. En su trabajo, estos autores demostraron que el solketal es termodinámicamente más estable que su isómero debido a las repulsiones estéricas asociadas a la presencia del un grupo metilo en una posición axial del anillo de 6 miembros [4].

Algunos autores han reportado información sobre el equilibrio químico de la síntesis de solketal a partir de datos experimentales, llevados a cabo en fase líquida y empleando reactores batch y continuos [5-7]. Todas estas determinaciones se encuentran sujetas a posibles errores, como la heterogeneidad de la mezcla reactiva, que puede conducir a problemas de trasporte de materia, o los efectos de desactivación de los catalizadores. Sin embargo, aún no han sido reportados estudios teóricos que permitan evadir estos posibles errores experimentales.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es estudiar en forma teórica el equilibrio termodinámico de la formación de solketal a partir de glicerol y acetona en fase líquida, considerando la no idealidad de la fase. Para ello, fueron empleados métodos predictivos para calcular las propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los compuestos que no se encuentran disponibles en la bibliografía. Esta información resulta de particular interés dado que no se encuentra disponible en los softwares de simulación.

2. Desarrollo y discusión

2.1 Metodología

Los rangos de presión y temperatura estudiados en el presente trabajo fueron tales que todas las especies presentes se encuentran en fase líquida. Por tal motivo, el planteo de las ecuaciones del equilibrio de fases no fue tenido en cuenta. Además, sólo se considera al agua y al solketal como productos de reacción.

2.1.1 Cálculos de las propiedades fisicoquímicas y termodinámicas de los compuestos involucrados en la reacción

La síntesis de solketal comenzó a ser estudiada recientemente, por lo que las propiedades fisicoquímicas de este compuesto no están disponibles en la bibliografía. Por lo tanto, se procedió a calcular la capacidad calorífica de los compuestos empleando el método de contribución de grupos desarrollado por Růžička y Domalski [8], el cual representa el método más preciso aplicable a líquidos, y está basado en la contribución de cada enlace en la molécula y su interacción con enlaces vecinos. De acuerdo con este método, la expresión de la capacidad calorífica puede determinarse empleando las **Ecuaciones 1**.

$$c_{p,j}^{0}(T) = R\left[B + D\frac{T}{100} + E\left(\frac{T}{100}\right)^{2}\right] \quad Ecuación\ 1$$

$$B = \sum_{i=1}^{k} n_i b_i \quad Ecuación\ 1a \ ; \ D = \sum_{i=1}^{k} n_i d_i \quad Ecuación\ 1b \ ; \ E = \sum_{i=1}^{k} n_i e_i \quad Ecuación\ 1c$$

Donde R es la constante universal de los gases y T la temperatura en K. Los parámetros A, B y D se obtienen empleando las **Ecuaciones 1a-1c**. n_i es el número de grupos del tipo *i* en la molécula *j*, y *k* es el número total de grupos diferentes presentes en la molécula *j*. Los parámetros b_i, d_i y e_i se obtuvieron de la base de datos de Poling-Prausnitz-O'Connell [9].

Además, para estudiar el equilibrio químico es necesario calcular las propiedades molares de formación en condiciones estándar de todos los compuestos involucrados. Similarmente a lo que sucede con la capacidad calorífica, no se encuentran estas propiedades para el solketal en la bibliografía, por lo que las propiedades de formación de los compuestos fueron calculadas empleando el método desarrollado por Domalski y Hearing [10]. La **Ecuación 2** fue empleada para calcular la entalpía molar estándar de formación ($\Delta H^{s}_{f,j}$), mientras que las **Ecuaciones 3** y **4** fueron empleadas para calcular la entropía molar de formación estándar del solketal ($\Delta S^{s}_{f,skt}$). En estas ecuaciones, $\Delta H^{s}_{f,i}$ es la contribución del grupo *i* a la entalpía de formación, mientras que S^{s}_{skt} es la entropía de formación absoluta del solketal. Además, S^{s}_{l} es la entropía de formación del elemento *l*, donde *l* puede ser el H_2, O_2 o C. El superíndice *s* indica una propiedad en condiciones estándar.

$$\Delta H^{s}_{f,j} = \sum_{i=1}^{k} n_i\left(\Delta H^{s}_{f,i}\right) \quad Ecuación\ 2 \ ; \ \Delta S^{s}_{f,skt} = S^{s}_{skt} - \sum_{l=1}^{N} \alpha_l S^{s}_{l} \quad Ecuación\ 3$$

$$S^{s}_{skt} = \sum_{i=1}^{k} n_i S^{s}_{i} \quad Ecuación\ 4$$

Luego, la energía libre de Gibbs estándar de formación ($\Delta G^{s}_{f,j}$) fue calculada empleando la **Ecuación 5**.

$$\Delta G^{s}_{f,j} = \Delta H^{s}_{f,j} - T^{s}\Delta S^{s}_{f,j} \quad Ecuación\ 5$$

2.1.2 Parámetros de reacción en condiciones estándar

La entalpía y la energía libre de reacción se determinaron empleando las **Ecuaciones 6** y **7**, respectivamente. La constante de equilibrio en condiciones estándar ($(Ka)_{T^s}$) fue calculada empleando la **Ecuación 8**. En las ecuaciones, α_j representa el coeficiente estequiométrico del compuesto *j* en la reacción de síntesis de solketal.

$$\Delta H^s{}_R = \sum_{j=1}^{M} \alpha_j \left(\Delta H^s{}_{f,j}\right) \; Ecuación\ 6 \;\; ; \Delta G^s{}_R = \sum_{j=1}^{M} \alpha_j \left(\Delta G^s{}_{f,j}\right) \; Ecuación\ 7$$

$$ln(Ka)_{T^s} = \frac{-\Delta G_R^s}{RT^s} \; Ecuación\ 8$$

2.1.3 Expresión de la constante de equilibrio en función de la temperatura

Para determinar la expresión de la constante de equilibrio (K_a) de la reacción en función de la temperatura se integró la ecuación de Van't Hoff (**Ecuación 9**).

$$\frac{dln(K_a)}{dT} = \frac{\Delta H^0{}_R(T)}{RT^2} \; Ecuación\ 9$$

La expresión de la entalpía de reacción en condiciones normales ($\Delta H^0{}_R$) se obtuvo integrando las **Ecuaciones 10** y **11**, donde $c_{p,j}^0(T)$ representa la capacidad calorífica molar del compuesto *j* en condiciones normales.

$$\frac{d\Delta H^0{}_R(T)}{dT} = \Delta c_p{}^0(T) \; Ecuación\ 10 \;\; ; \;\; \Delta c_p{}^0(T) = \sum_{j=1}^{M} \alpha_j c_{p,j}^0(T) \; Ecuación\ 11$$

2.1.4 Determinación de la composición de equilibrio y la conversión de glicerol en el equilibrio

La constante de equilibrio de la reacción se define de acuerdo con la **Ecuación 12**, mientras que la **Ecuación 13** define la actividad del compuesto *j*. En estas ecuaciones, x_j es la composición en el equilibrio del compuesto j y γ_j es el coeficiente de actividad del compuesto *j*.

$$Ka = \prod_{j=1}^{M} a_j{}^{\alpha j} \; Ecuación\ 12 \;\; ; \;\; a_j = \frac{\tilde{f}_J}{f_j^0} = \gamma_j x_j \frac{f_j^L}{f_j^0} \; Ecuación\ 13$$

Si el volumen específico de cada compuesto en la fase líquida (v_j^L) no depende fuertemente de la presión del sistema (P), el cociente de fugacidades f_j^L/f_j^0 puede ser expresado por la **Ecuación 14**, donde P^s es la presión en el estado estándar.

$$\frac{f_j^L}{f_j^0} = exp\left(\int_{P^s}^{P} \frac{v_j^L}{RT} dP\right) \cong exp\left[\frac{v_j^L}{RT}(P - P^s)\right] \; Ecuación\ 14$$

Para resolver las **Ecuaciones 12** y **13** y calcular las composiciones en el equilibrio (x_j), es necesario determinar los coeficientes de actividad los cuales, a su vez, dependen de las composiciones en el equilibrio. Por lo tanto, este sistema de ecuaciones no lineales requiere de resolución numérica. Los coeficientes de actividad fueron calculados el modelo UNIFAC [11]. Una vez que las composiciones fueron determinadas resolviendo las **Ecuaciones 12** y **13**, la conversión de glicerol fue calculada empleando la **Ecuación 16**.

$$Conversión = \frac{(moles\ iniciales\ glicerol\ -\ moles\ finales\ glicerol)}{moles\ iniciales\ glicerol} . 100 \qquad Eucación\ 16$$

2.2 Resultados

2.2.1 Constante de equilibrio en condiciones estándar

La **Tabla 1** resume los valores obtenidos para la entalpía, entropía y energía libre de Gibbs de formación en condiciones estándar, para los compuestos involucrados en la reacción, mientras que la **Tabla 2** muestra los parámetros de reacción obtenidos en condiciones estándar.

Tabla 1. Propiedades de formación estándar de reactivos y productos en fase líquida.

Compuesto	$\Delta H^S_{f,j}$ [kJ mol^{-1}]	S^S_j [J mol^{-1} K^{-1}]	$\Delta G^S_{f,j}$ [kJ mol^{-1}]
Glicerol	-673,70 [a)]	206,30 [b)]	-482,48
Acetona	-247,98 [a)]	200,40 [c)]	-155,13
Solketal	-642,28 [a)]	303,92 [a)]	-397,11
Agua	-285,83 [c)]	69,95 [c)]	-237,14

[a)] Calculado empleando el método de Domalski y Hearing; [b)] obtenido de la literatura [12]; [c)] obtenido de NIST Webbook [13]

Tabla 2. Parámetros de reacción en condiciones estándar.

ΔH^S_R [kJ mol^{-1}]	ΔS^S_R [kJ K^{-1} mol^{-1}]	ΔG^S_R [kJ mol^{-1}]	Ka^s
-6,42	-0,0082	-3,97	0,2577

2.2.2 Expresiones de la capacidad calorífica y de la constante de equilibrio en función de la temperatura

La **Figura 2a** muestra los valores de la capacidad calorífica en función de la temperatura calculada empleando el método de Růžička y Domalski para el glicerol, la acetona y el solketal. Para el agua, la capacidad calorífica se obtuvo de bibliografía [13]. La integración de la **Ecuación 10** conduce a la expresión de la entalpía de reacción en función de la temperatura, cuya dependencia se muestra en la **Figura 2b**. Puede observarse que la entalpía de reacción no es constante en el rango de temperaturas estudiadas, dado que $\Delta {c_p}^0(T)$ no es cero (Figura insertada en la **Figura 2b**).

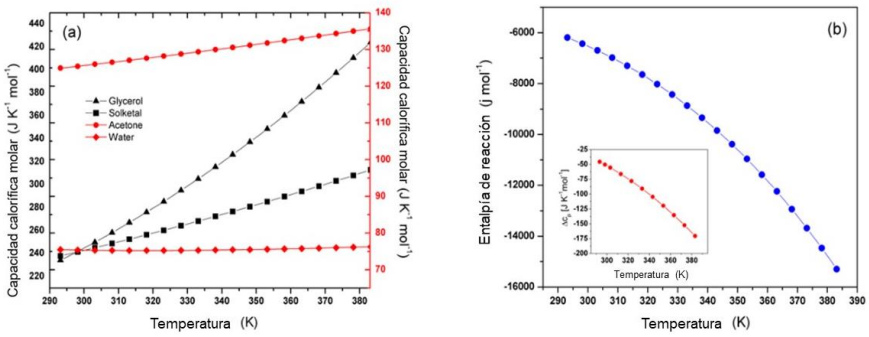


Figura 2. (a) Capacidad calorífica molar de los compuestos involucrados en la reacción. (b) Entalpía de reacción vs. temperatura. La figura interna muestra $\Delta {c_p}^0(T)$ vs T.

Finalmente, la expresión de $ln(K_a)$ en función de la temperatura es obtenida integrando la ecuación de Van't Hoff (**Ecuación 9**), y se muestra en la **Ecuación 17**.

$$ln(K_a) = 19.8873 + \frac{272.721}{T} - 4.626ln(T) + 8.695x10^{-3}T + 5.525x10^{-5}T^2 - 1.415x10^{-7}T^3 + 5.635x10^{-11}T^4 \qquad Ecuación\ 17$$

2.2.3 Determinación de la composición en el equilibrio y de la conversión de glicerol

Uno de los aspectos más importantes de la reacción de síntesis de solketal es la baja miscibilidad del glicerol y la acetona, lo que genera que la mezcla reactiva sea bifásica. Como resultado, usualmente se lleva a cabo la reacción en exceso de acetona, para minimizar los problemas de transporte [14]. Debido a esto, la resolución del sistema de ecuaciones no lineales se llevó a cabo para relaciones molares acetona/glicerol (A/G) de entre 1 y 12, variando la temperatura y la presión del sistema, de forma tal de asegurar que todos los compuestos se encuentran en fase líquida. El efecto de la presión sobre la conversión también fue estudiado, indicando que es despreciable en el rango de 1 a 10 bar, lo que concuerda con resultados obtenidos por otros autores [5].

En la **Figura 3a** se muestran los valores de conversión de glicerol en función de la temperatura y la relación molar A/G. Por ejemplo, a 293 K, y para valores de A/G de 1, 3, 6 y 12, la conversión de equilibrio obtenida fue de 48, 78, 89 y 94%, respectivamente. Además, para las mismas relaciones de A/G pero a 373K, la conversión de equilibrio fue de 31, 54, 68 y 79%, respectivamente. Puede observarse que, como es de esperarse, la conversión de equilibrio aumenta con el exceso de acetona y disminuye con el aumento de la temperatura, dado el carácter exotérmico de la reacción. En base a estos resultados, es recomendable llevar a cabo la reacción con altas relaciones A/G. No obstante, aunque la conversión de glicerol sea menor, el aumento de la temperatura favorece la cinética de la reacción y la miscibilidad de los reactivos.

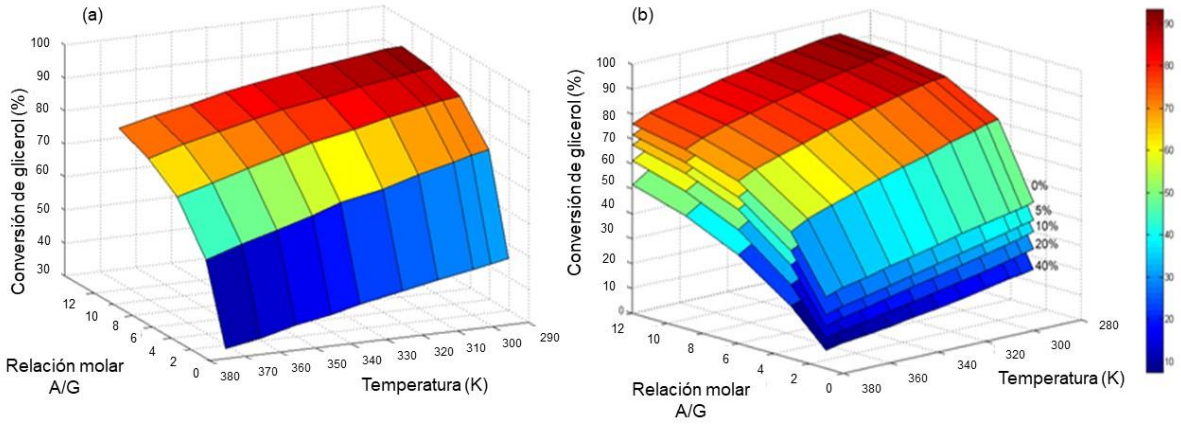


Figura 3. (a) Conversión de glicerol en el equilibrio vs. la relación molar A/G molar y la temperatura. (b) Conversión de glicerol en el equilibrio vs. relación molar A/G y temperatura para diferentes contenidos de agua. En ambos casos, P=5atm.

El efecto del contenido de agua en la mezcla de reacción sobre la conversión en el equilibrio también fue estudiado. Este parámetro es importante dada la cantidad de agua que puede presentar el glicerol crudo, que se espera que esté entre un 12 y un 40% en peso con respecto al glicerol. La **Figura 3b** muestra los valores de conversión para contenidos de agua entre el 0 y el 40% en peso, en función de la temperatura y la relación A/G. Puede observarse que cuanto mayor es el contenido de agua, menor es la conversión alcanzada, y

este efecto negativo es mayor para menores valores de A/G. Este efecto fue observado por Da Silva y col., quienes reportaron una disminución drástica del 60% de conversión de glicerol a 343K, una relación A/G igual a 2 y un contenido inicial de agua del 15% en peso [15].

Para evitar los efectos negativos de la presencia de agua en el medio de reacción, algunos autores han propuesto diferentes sistemas para llevar a cabo la reacción, como la extracción de agua durante la reacción o la síntesis de sólidos hidrofóbicos [16].

3 Conclusiones

Las propiedades termodinámicas y fisicoquímicas del solketal han sido determinadas con éxito implementando métodos de contribución de grupos. Los valores obtenidos para ΔH^S_f y ΔG^S_f fueron -642,28 y -397,11 kJ mol^{-1}, respectivamente. Estos valores no están disponibles en softwares de simulación ni en bibliografía, y son esenciales para el cálculo de las composiciones en el equilibrio. Las expresiones de $\Delta Cp(T)$, $\Delta H_R(T)$ y $K_a(T)$ fueron también obtenidas, determinando que $\Delta Cp(T)$ varía desde -45 a -170 j k^{-1} mol^{-1} en el rango de temperaturas estudiado. Estos resultados indican que, entonces, $\Delta H_R(T)$ también varía considerablemente (-6 a -16 kJ mol^{-1}).

Las composiciones en el equilibrio fueron determinadas empleando el método UNIFAC para los coeficientes de actividad de los compuestos involucrados en la reacción. Estos resultados demostraron que es posible mejorar la conversión de glicerol en el equilibrio si se aumenta la relación molar A/G, pudiendo obtener valores del 88% a 293K y A/G=6. Además, los resultados obtenidos en este trabajo permiten predecir la disminución de la conversión producto de la presencia de agua en la mezcla de reacción. Por ejemplo, a 293 K y A/G=3, la conversión de glicerol disminuye desde 77% a 49% cuando el contenido de agua aumenta de 0 a 40 en peso, mientras que para A/G=12 la conversión disminuye de 94 a84% para la misma variación del contenido de agua.

Bibliografía

[1] M. Rahaman, T. Phung, M. Hossain, E. Chowdhury, S. Tulaphol, S. Lalvani, M. O'Toole, G. Willing, J. Jasinski, M. Crocker, N. Sathitsuksanoh, Appl. Catal., A 2020, 592, 117369.
[2] X. Li, L. Zheng, Z. Hou, Fuel 2018, 233, 565-571.
[3] I. Laskar, K. Rajkumari, R. Gupta, L. Rokhum, Energy Fuels 2018, 32, 12567 12576.
[4] L. Ozorio, R. Pianzolli, M. S. Mota, C. Mota, J. Braz. Chem. Soc. 2012, 23 (5), 931-937.
[5] M. Nanda, Z. Yuan, W. Qin, H. Ghaziaskar, M. Poirier, C. Xu, Fuel 2014, 117 Part A, 470-477.
[6] M. Moreira, R. Faria, A. Ribeiro, A. Rodrigues, Ind. Eng. Chem. Res. 2019, 58 (38), 17746−17759.
[7] A. Cornejo, M. Campoy, I. Barrio, B. Navarrete, J. Lázaro, React. Chem. Eng. 2019, 4 (10),1803-1813.
[8] V. Růžička, E. Domalski, J. Phys. Chem. Ref. Data 1993, 22 (3), 597-618.
[9] B. Poling, J. Prausnitz, J. O'Connell, The properties of gases and liquids, 5th ed., McGraw Hill, New York 2001.
[10] E. Domalski, E. Hearing, J. Phys. Chem. Ref. Data 1993, 22 (4), 805-1159.
[11] A. Fredenslund, R. Jones, J. Prausnitz, AIChE J. 1975, 21 (6), 1086-1099.
[12] J. A. Dean, Lange's Handbook of Chemistry, 16th ed., McGraw Hill, NY 2005.
[13] https://webbook.nist.gov/
[14] M. Nanda, Y. Zhang, Z. Yuan, W. Qin, H. Ghaziaskar, C. (Charles) Xu, Renewable Sustainable Energy Rev. 2016, 56, 1022-1031.
[15] L. Li, T. Korányi, B. Sels, P. Pescarmona, Green Chem. 2012, 14 (6), 1611-1619.
[16] C. X. A. da Silva, C. J. A. Mota, Biomass and Bioenergy 2011 35, 3547-3551.

NITRIFICACION-DESNITRIFICACION SIMULTANEA EN EL TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE LACTEO UTILIZANDO UN SBR GRANULAR AEROBIO

Bucci Paula L[1,2], Zaritzky Noemí E.[1,2], Caravelli Alejandro H.[1]

1 Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos, CIDCA, (CCT – La Plata – CONICET, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, CIC) 47 y 116, B1900AJJ, La Plata, Argentina .
2 Depto. de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata, Argentina

PALABRAS CLAVES: reactor discontinuo secuencial, nitrificación, relación DQO/NTK, granulación

INTRODUCCIÓN

Los efluentes del procesamiento de la leche poseen elevadas temperaturas y grandes variaciones en el pH, sólidos totales (ST), demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y aceite y grasa (FOG, fat, oil and grease) (Slavov, 2017). Típicamente las aguas residuales lácteas son de color blanco y tienen un olor desagradable y un carácter turbio (Quasim y Mane, 2013). Los efluentes lácteos se caracterizan por presentar una alcalinidad muy baja, aproximadamente 2.5 $g.L^{-1}$ expresada como $CaCO_3$ en el permeado de leche, lo que genera un potencial de acidificación rápida y mayores costos de reactivos para el mantenimiento del pH durante la purificación (Slavov, 2017). Debido a su alto contenido orgánico, las aguas residuales lácteas se caracterizan por altos valores de DBO y DQO que varían entre 60 y 80 $g.L^{-1}$ (Slavov, 2017). Alrededor del 90% de la carga de DBO y DQO es causada por la lactosa, mientras que la fracción restante corresponde a las proteínas del suero. El nitrógeno existe principalmente en forma de grupos amino a partir de proteínas de la leche. También se detectan otros compuestos nitrogenados: urea, ácido úrico e iones NH_4^+, NO_2^- y NO_3^- (Slavov, 2017). También se pueden encontrar pequeñas cantidades de sales de nitrógeno y amonio procedentes de compresores de amoníaco (Slavov, 2017). Los compuestos de fósforo son principalmente inorgánicos, fosfato (PO_4^{3-}) y difosfato ($P_2O_7^{4-}$), pero también pueden estar presentes en forma orgánica (Demirel et al, 2005). El principal contaminante en las aguas residuales de procesamiento de leche es el suero debido a su alta carga orgánica y volumétrica. El suero de leche es la fracción líquida obtenida durante la coagulación de la leche en el proceso de fabricación del queso y de la caseína, después de la separación del coágulo o fase micelar (entre el proceso de mezclado y reposo). La coagulación se obtiene mediante la acción de, principalmente, enzimas del tipo del cuajo. En el caso del suero ácido, la coagulación se produce, principalmente, por acidificación (CODEX STAN 289-1995). Es un subproducto rico en proteínas globulares hidrosolubles, lactosa, grasas y minerales. Debido a ello es una de las principales fuentes de contaminación ambiental, de ahí proviene la importancia de su valorización.

Los procesos aeróbicos permiten lograr una excelente calidad de los efluentes en términos de eliminación de DQO, DBO y nutrientes. Una de las formas de poder disminuir la contaminación es mediante la remoción biológica de nutrientes (RBN) la cual es considerada la técnica más económica y sustentable para satisfacer requerimientos de descarga rigurosos (Xu et al., 2013). Este proceso se basa en nitrificación autótrofa aerobia y desnitrificación heterótrofa en condiciones anóxicas. La nitrificación es la oxidación biológica de amonio con oxígeno para dar nitrito, seguida por la oxidación de esos nitritos a nitratos. La desnitrificación es un proceso metabólico que usa el nitrato como aceptor terminal de electrones en condiciones anaerobias principalmente, conduciendo finalmente a nitrógeno molecular (gas, N_2). También es posible la desnitrificación bajo condiciones aeróbicas. En reactores aeróbicos con RBN basada en el proceso de nitrificación-desnitrificación simultánea (en inglés SND), a medida que se disminuye la relación DQO/N resulta favorecida la actividad nitrificante; no obstante, una baja disponibilidad de carbono orgánico afecta negativamente la capacidad de desnitrificación del sistema.

Entre los procesos aeróbicos, el SBR (reactor discontinuo secuencial) parece ser la tecnología más prometedora para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea (Kushwaha et al, 2011), sin embargo, en este tipo de efluentes los procesos biológicos pueden ser afectados por limitaciones en la transferencia de oxígeno así como por problemas de sedimentación de lodos. Cabe destacar que las altas concentraciones de DBO y DQO de los efluentes lácteos conducen a una elevada tasa de consumo de oxígeno, lo cual reduce drásticamente la disponibilidad del mismo limitando en consecuencia los procesos de oxidación biológica. Además debe considerarse que las aguas residuales de suero de queso tienen una relación DQO:N:P media de 100:1.75:0.5, que se ha considerado deficiente en nitrógeno para el tratamiento de efluentes por procesos biológicos (Prazeres et al, 2012), siendo la relación óptima mínima de DQO:N:P de 100:5:1 aceptada para procesos aeróbicos basados en el crecimiento heterotrófico. Para superar las dificultades mencionadas, la dilución de las aguas residuales de la industria láctea con efluentes ricos en amonio podría implementarse en sistemas de tratamiento aeróbico (Fux et al, 2002).El tratamiento conjunto de las aguas residuales de la industria láctea con efluentes ricos suplementados con amonio permitiría ajustar la deficiente relación DQO:N que tienen los efluentes lácteos, a una relación de 100:5 o incluso menor, 100:10 o 100:15, permitiendo tratar mayores volúmenes de efluentes con elevadas concentraciones de amonio. Esta estrategia evitaría los costos causados por la adición de nitrógeno o carbono, estrictamente necesarios si cada tipo de efluente se querría tratar individualmente por métodos biológicos al no tener las concentraciones óptimas estas fuentes requeridas para el tratamiento adecuado. Cabe destacar que ha sido poco estudiado el efecto de variables operativas, como la relación DQO/NTK, en el tratamiento de efluentes lácteos. El nitrógeno total Kjeldahl (NTK) proporciona el contenido de nitrógeno orgánico más nitrógeno amoniacal de una muestra y se diferencia del nitrógeno total (NT), que abarca el NTK, además de los nitritos y los nitratos, como formas oxidadas del nitrógeno

El objetivo del presente trabajo es el estudio de la remoción de nitrógeno total y carbono orgánico de un efluente sintético modelo de la industria láctea, a partir de la optimización de los procesos de remoción de los contaminantes mediante cambios en las cargas volumétricas de NTK y carbono orgánico y el tiempo de residencia celular (TRC) del sistema estudiado. Se propuso evaluar el efecto de la carga orgánica, la relación DQO/NTK y la presencia de micronutrientes en la capacidad de nitrificación y desnitrificación en reactores SBR con biomasa granular aeróbica. Los SBRs fueron alimentados con un efluente sintético de la industria láctea suplementado con sulfato de amonio. También se evaluó la capacidad de acumulación de reservas de carbono intracelulares como glucógeno y su uso como fuente de carbono para la desnitrificación, en los casos que exhibieron nitrificación.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Los SBRs consistieron en columnas de burbujeo (volumen de trabajo= 1 L) con un caudal de aire superficial ascendente de 0.6 $cm.seg^{-1}$ para favorecer la granulación. Los reactores fueron alimentados con un efluente basado en suero de queso (SBR_{SQ}) compuesto por suero de queso deshidratado (marca LACTOFOOD) como fuente de carbono y energía para heterótrofos, $(NH_4)_2SO_4$ como fuente de nitrógeno para heterótrofos y nitrificantes, K_2HPO_4 y KH_2PO_4 como fuente de fósforo y buffer fosfato y $NaHCO_3$ para mantener el pH estable entre 7.0 y 8.0, considerándose condiciones de pH adecuadas para el crecimiento de microorganismos nitrificantes. Los reactores fueron operados con alternancia de períodos de disponibilidad de carbono orgánico e inanición (régimen “feast/famine”). Se evaluaron 6 condiciones experimentales definidas principalmente por la carga volumétrica (CV) de DQO y de nitrógeno (inorgánico, orgánico y NTK) y la ausencia/presencia de micronutrientes (Tabla 1). Las soluciones de micronutrientes utilizadas (M_1 y M_2) se detallan a continuación: M_1 presentó la siguiente composición ($g.L^{-1}$): $FeSO_4.7H_2O$ (15.0), $ZnSO_4.7H_2O$ (5.0), $MnSO_4.H_2O$ (3.0), $CuSO_4.5H_2O$ (0.75), $CoCl_2.6H_2O$ (0.15), Ac. Cítrico (6.0). M_2 estuvo compuesta por ($g.L^{-1}$): $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ (0.5), BO_3H_3 (0.1), IK (0.1).Cabe destacar que la

nomenclatura utilizada para cada condición estudiada se llevó a cabo considerando la presencia (M) o ausencia de micronutrientes (SM), la carga orgánica, baja (CB), media (CM) o alta (CA), el cambio de la carga volumétrica de nitrógeno fácilmente asimilable (Nitrógeno inorgánico) por una más baja (NB) y el tiempo de residencia celular representado como subíndice, correspondiente a 20 o 10 días (Tabla 1).

Tabla 1: Parámetros operativos de las diferentes condiciones estudiadas

Efluente sintético SQ	***Condición ($SMCM_{20}$)***	***Condición (MCM_{20})***	***Condición ($SMCB_{20}$)***	***Condición (MCM_{10})***	***Condición (MCA_{20})***	***Condición ($MCANB_{20}$)***
N inorgánico, mg NH_3-N.(L.día)$^{-1}$	71.5	71.5	71.5	71.5	71.5	61.5
P inorgánico, mg PO_4^{3-}-P.(L.día)$^{-1}$	35.83	35.8	35.8	35.8	35.8	35.8
DQO, mg DQO.(L.día)$^{-1}$	716.8	716.8	358.4	716.8	1075.2	1075.2
NTK, mg NTK.(L.día)$^{-1}$	83.5	83.5	77.5	83.5	88.7	78.7
N orgánico, mg Norg.(L.día)$^{-1}$	12.0	12.0	6.0	12.0	17.2	17.2
DQO:NTK:P	100:11.6:5	100:11.6:5	100: 21.6:10	100:11.6:5	100:8.2:3.3	100:7.3:3.3
Micronutrientes (M_1 y M_2)	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Presencia	Presencia
TRC (días)	20	20	20	10	20	20

El SBR operado bajo la condición $SMCM_{20}$ fue inoculado con un consorcio microbiano aerobio (lodos activados, 0.2 L) y el agua de desecho sintética (0.8 L) para alcanzar el volumen final de trabajo. Los gránulos de biomasa generados en este reactor fueron utilizados como inóculos en las condiciones restantes. Los reactores fueron operados manualmente, a temperatura ambiente, con ciclos de 24 hs determinados por las siguientes fases: adición del medio de cultivo (2 minutos), fase de reacción aeróbica (1428 min), purga de lodos (1 minuto), fase de sedimentación (5-20 minutos) y extracción del sobrenadante (2 minutos). El período de aclimatación de la biomasa concluyó una vez que se alcanzaron remociones de DQO del 100% así como buenas propiedades de sedimentación. Los SBRs fueron operados con un tiempo de residencia celular (TRC) de 10 y 20 días, lo suficientemente largo para favorecer el crecimiento de bacterias heterótrofas y nitrificantes. El funcionamiento de los reactores se evaluó a lo largo de los ciclos de operación mediante la determinación de los siguientes parámetros: concentraciones de nitrógeno amoniacal (NH_4^+-N) (método HACH Nº 8038), nitrato (NO_3^--N) (método HACH Nº 8039), nitrito (NO_2^--N) (método HACH Nº 8153), demanda química de oxígeno soluble (DQO_S), como medida de sustrato orgánico y glucógeno.

La concentración de biomasa de los SBRs fue determinada como sólidos totales (ST). Para ello, se tomaron muestras del licor de mezcla de los reactores, las cuales fueron centrifugadas y resuspendidas en agua destilada. Este proceso de lavado fue realizado dos veces. Las muestras fueron colocadas en estufa (105°C) durante 24 hs. La concentración de carbohidratos totales (CT) de la biomasa se determinó mediante el método de Antrona siguiendo una modificación de la técnica propuesta por Osborne y Voogt (1978). El índice de

sedimentabilidad de la biomasa ISV_{30} (mL g ST^{-1}) en los reactores se determinó utilizando una probeta de 100 mL. Se ha propuesto que el ISV debe ser menor a 90 mL g ST^{-1} para considerar una excelente sedimentabilidad de los gránulos (Liu y Tay, 2006). La distribución de tamaños de partícula de la biomasa se determinó utilizando un equipo Mastersizer E 20003.14. Estas determinaciones fueron realizadas a diferentes TRC transcurridos.

La eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal (% NH_3-N_R) y eficiencia de remoción de nitrógeno inorgánico (%Ni_R) se determinaron aplicando las ecuaciones 1 y 2.

$$\%\, NH_3 - N_R = \left(\frac{(NH_3 - N)_0 - (NH_3 - N)_F}{(NH_3 - N)_0}\right).100 \qquad (1)$$

donde $(NH_3\text{-}N)_O$ y $(NH_3\text{-}N)_F$ corresponden a las concentraciones de nitrógeno amoniacal (mg NH_3-$N.L^{-1}$) al comienzo y al final del ciclo operativo, respectivamente.

$$\%\, Ni_R = \left(\frac{Ni_O - Ni_F}{Ni_O}\right).100 \qquad (2)$$

donde Ni_O es la concentración de nitrógeno inorgánico (Ni) al comienzo del ciclo operativo (mg.L^{-1}) y Ni_F es la concentración de Ni (mg.L^{-1}) al final del ciclo (efluente de SBR). Ni_O corresponde a NH_3-N del agua residual sintética. Ni_F es la suma de NH_3-N, NO_2^--N y NO_3^--N. Las concentraciones de nitrato y nitrito al comienzo del ciclo (del sobrenadante restante del ciclo anterior) no se consideraron en la determinación de la concentración de Ni_O.

La remoción de Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK_R) se determinó mediante la ecuación (3):

$$\%NTK_R = \left(\frac{NTK_O - NTK_F}{NTK_O}\right)100 \qquad (3)$$

donde NTK_O es la concentración de NTK al comienzo del ciclo operativo del SBR_{SQ} dada por la suma de la concentración de nitrógeno amoniacal y el nitrógeno orgánico (N_{ORG}) aportado por el suero de queso. Cabe señalar que el N_{ORG} puede encontrarse en forma de partículas, como N orgánico particulado, lo cual dificulta que sea separado de la biomasa para una adecuada cuantificación mediante el método microKjeldahl. Por lo tanto, al comienzo del ciclo, N_{ORG} se estimó indirectamente a partir del análisis NTK del suero de queso (NTK_{SQ}). Por último, NTK_F hace referencia al NTK final luego de la sedimentación, donde se incluye el nitrógeno amoniacal, N_{ORG} (soluble y particulado) aportado por el suero de queso, el N_{ORG} aportado por la biomasa y los productos de lisis.

Por último, se evaluó la eliminación de nitrógeno mediante el proceso de nitrificación-desnitrificación simultánea (NDS) a partir de la siguiente expresión:

$$\%NDS = \left(\frac{\Delta(NTK)_{OX} - \Delta(NO_X - N)}{\Delta(NTK)_{OX}}\right)100 \qquad (4)$$

donde $\Delta(NTK)_{OX}$ corresponde al NTK oxidado por la actividad nitrificante y $\Delta(NO_X\text{-}N)$ a las formas oxidadas de nitrógeno, representadas como nitrógeno en forma de nitrito y nitrato, generadas en cada período.

En fase “feast”, el carbono orgánico se utilizó para la síntesis de glucógeno intracelular, el cual fue luego utilizado como fuente de carbono y energía para crecimiento de biomasa en fase “famine”. El porcentaje de remoción de NTK debido al crecimiento de la biomasa se estimó utilizando el coeficiente estequiométrico teórico: 0.5 C-mol X.(C-mol glucógeno)$^{-1}$. Asimismo, el nitrógeno asimilado por el crecimiento heterotrófico se estimó utilizando el coeficiente estequiométrico que relaciona los contenidos de nitrógeno y carbono

de la biomasa (0.2 mol N.(C-mol X)$^{-1}$), asumiendo la fórmula elemental de biomasa $CH_{1.8}O_{0.5}N_{0.2}$. Finalmente, el porcentaje de remoción de NTK debido al proceso de nitrificación fue estimado por la diferencia entre el NTK del sistema y el NTK removido por crecimiento heterótrofo. En principio se estudió el efecto de la presencia de micronutrientes sobre la capacidad de nitrificación, así como sobre la remoción conjunta de carbono y nitrógeno. Posteriormente, el estudio estuvo centrado en la relación DQO/NTK. Cabe destacar que en todas las condiciones estudiadas se logró una remoción completa del carbono orgánico. El SBR operado bajo la condición $SMCM_{20}$ no presentó actividad nitrificante significativa durante el período de operación del reactor (100 días) resultando una baja remoción de amonio. En la Tabla 2 se exponen los resultados obtenidos de las restantes condiciones estudiadas con eficiencias de remoción de amonio y NTK superiores a 70 y 85% respectivamente. En ausencia de micronutrientes fue necesario reducir la carga orgánica desde 716.8 hasta 358.4 mgDQO.(L.día)$^{-1}$ para que tenga lugar la nitrificación permitiendo alcanzar una remoción de amonio de 70% pero una baja remoción de nitrógeno inorgánico ($SMCB_{20}$). Las condiciones con mayores cargas orgánicas (716.8 – 1075.2 mgDQO.(L.día)$^{-1}$) y micronutrientes presentaron mayores remociones de Ni (Tabla 2).

Tabla 2: Resultados de los balances realizados en los SBRs

SBR_{SQ}	Condición (MCM_{20})	Condición ($SMCB_{20}$)	Condición (MCM_{10})	Condición (MCA_{20})	Condición ($MCANB_{20}$)
DQO:NTK:P	100:11.6:5	100: 21.6:10	100:11.6:5	100:8.2:3.3	100:7.3:3.3
ST ($g.L^{-1}$)	3.0 (0.4)	1.5 (0.22)	2.6 (0.34)	2.5 (0.41)	3.1 (0.9)
ISV ($mL.g\ ST^{-1}$)	50	25	19	18	29
Tamaño granular (mm)	0.35	0.35	0.28	0.28	0.7
% Remoción de NH_4^+-N	74 (7.8)	70 (8.8)	77 (8.0)	74 (8.8)	98 (8.7)
% Remoción de NTK	89 (7.6)	86 (8.1)	90 (7.2)	92 (6.6)	100 (8.9)
% Remoción de Ni	48 (5.6)	24 (3.3)	47.2 (5.9)	64 (6.7)	76.1 (8.0)
% Remoción de NTK (nitrificación)	76 (8.9)	74 (9.8)	83 (8.8)	80 (8.5)	73 (9.4)
% Remoción de NTK (Crecimiento heterótrofo)	24 (3.5)	26 (2.6)	17 (2.9)	20 (3.7)	27 (3.9)
%NDS	52 (4.3)	18 (1.7)	82. (8.5)	85 (8.3)	57.2 (10.4)

En la figura 1 se puede observar que a medida que se incrementa la relación DQO/NTK, aumenta el porcentaje de remoción de nitrógeno inorgánico; no obstante, el porcentaje de remoción de NTK no cambia significativamente. Estos resultados implican que el incremento en la relación DQO/NTK no afectó el proceso de nitrificación sino que favoreció la actividad desnitrificante conduciendo a mayores remociones de nitrógeno inorgánico. La condición ($MCANB_{20}$), con micronutrientes, una relación DQO/NTK más alta y un TRC de 20 días, resultó la mejor condición experimental. Cabe destacar que esta condición presentó un mayor tamaño granular (Tabla 2), permitiendo que los microorganismos presenten una tolerancia mayor al amoníaco tóxico. La adición de

micronutrientes a los efluentes lácteos junto con el incremento de la relación DQO:NTK se propone como una excelente alternativa para promover el crecimiento de bacterias nitrificantes y favorecer la actividad desnitrificante respectivamente, contribuyendo significativamente a la remoción biológica del nitrógeno.

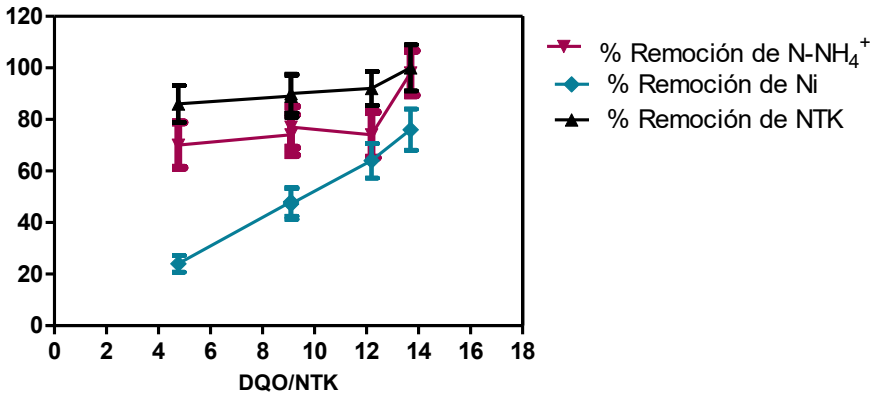


Figura 1: Relación DQO/NTK en función de la remoción de N-NH_4^+, Ni y NTK

CONCLUSIONES

La adición de amoníaco a las aguas residuales lácteas es una buena estrategia para obtener relaciones DQO/NTK favorables para la nitrificación en los procesos biológicos. La eliminación simultánea de carbono orgánico y nitrógeno amoniacal se logró en reactores discontinuos secuenciales (SBRs) granulares aeróbicos, a escala de laboratorio, alimentados con las aguas residuales lácteas modificadas. Se evaluaron los efectos de la adición de micronutrientes como de la carga orgánica sobre los procesos de nitrificación y desnitrificación. Se pudo observar que con una relativamente elevada relación DQO:NTK ($MCANB_{20}$) junto a la presencia de micronutrientes se lograron las mejores eficiencias de remoción conjunta de carbono y nitrógeno mediante nitrificación-desnitrificación bajo condiciones aeróbicas.

BIBLIOGRAFíA

A.R. Prazeres, F. Carvalho, J. Rivas, Cheese whey management: a review, J. Environ. Manage. 110 (2012) 48–68, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.018.

B. Demirel, O. Yenigun, T.T. Onay, Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review, Process Biochem. 40 (2005) 2583–2595, https://doi.org/10.1016/j. procbio.2004.12.015.

C. Fux, M. Boehler, P. Huber, I. Brunner, H. Siegrist, Biological treatment of ammonium- rich wastewater by partial nitritation and subsequent anaerobic ammonium oxidation (anammox) in a pilot plant, J. Biotechnol. 99 (2002) 295–306, https://doi.org/10.1016/s0168-1656(02)00220-1.

J.P. Kushwaha, V.C. Srivastava, I.D. Mall, An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 51 (2011) 442–452, https://doi.org/10.1080/10408391003663879.

Kolev Slavov, A. (2017). Dairy Wastewater Treatment Review, Food Technol. Biotechnol. 55 (1) 14–28 (2017). ISSN 1330-9862. doi: 10.17113/ft b.55.01.17.4520

Quasim W, Mane AV. Characterization and treatment of selected food industrial effl uents by coagulation and adsorption techniques. Water Res Ind. 2013;4:1–12. http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2013.09.005

Xu D., Chen H., Li X., Yang Q., Zeng T., Luo K., Zeng G. (2013) Enhanced biological nutrient removal in sequencing batch reactors operated as static/oxic/anoxic (SOA) process. Bioresource Technology 143, 204–211.

Osborne DR, Voogt P. (1978). Análisis de los nutrientes de los alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza (España).

Y. Liu, J. Tay, Variable aeration in sequencing batch reactor with aerobic granular sludge, J. Biotechnol. 124 (2006) 338–346, https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2005.12.037.

ENSAYOS DINÁMICOS DE ADSORCIÓN USANDO UNA MATRIZ DE QUITOSANO/PELLET CERÁMICO PARA LA REMOCIÓN DE AZO-COLORANTES

Pérez-Calderón, John[1]; Scian, Alberto[2]; Ducos, Martin[3]; Santos, Victoria[4]; Noemí Zaritzy[5]

[1] *CIDCA (Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos)-CONICET-Facultad de Ciencias Exactas UNLP, CIC-PBA, Calle 47 y 116. La Plata- Buenos Aires Argentina. CP.1900 lic.john.pecal@gmail.com.*

[2] *CETMIC (Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica) CONICET- CIC-PBA, Gonnet-La Plata-Buenos Aires Argentina.*

[3] *IPATEC (Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales)- CONICET Universidad Nacional del Comahue .Quintral 1250, Bariloche Argentina. CP. 8400.*

[4] *IPATEC-CONICET Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Argentina. CP. 8400*

[5] *CIDCA-CONICET-Facultad de Ciencias Exactas UNLP, CIC-PBA, Calle 47 y 116. La Plata Depto. Dep. Ingeniería Química- Facultad de Ingeniería (Univ. Nacional de La Plata, Argentina), Calle 1 y 47 La Plata.*

Palabras Claves: Columnas de adsorción, remoción de colorantes azoicos, matriz biocompuesta, quitosano

INTRODUCCIÓN

Diferentes actividades industriales requieren el uso de colorantes sintéticos. Los efluentes con presencia de este tipo de compuestos causan problemas debido a la naturaleza química recalcitrante. La presencia de colorantes en ecosistemas acuáticos genera la reducción de la penetración de la luz del sol afectando la actividad fotosintética, además dichos compuestos por la condiciones del medio acuático tienden a reducirse generando compuestos cancerígenos. Una clase de colorantes sintéticos son los azo-colorantes como el Rojo Reactivo 195 (RR195); este se caracteriza por tener un grupo azo y varios sulfonatos, por lo cual en medio acuoso le confiere características aniónicas.

La adsorción es una de las técnicas más usadas debido a que su escalado industrial es sencillo y práctico. Actualmente existe la tendencia a utilizar adsorbentes alternativos diferentes a los convencionales; dentro de estos nuevos materiales se encuentran las matrices compuestas que incorporan bio-polímeros como el quitosano (QS) y soportes minerales. Se ha explorado el uso del ácido oxálico (AO) como agente reticulante para la creación de matrices entre el QS y alúmina (Boddu y col., 2003). Pérez-Calderón y col., (2019) desarrollaron una matriz bio-compuesta de pellets cerámicos de alúmina/QS reticulado iónicamente con AO (PQO) como adsorbente del colorante RR195; a partir de ensayos tipo batch se reportó que este material posee una alta capacidad de adsorción para este colorante.

Dentro de los ensayos de adsorción se encuentran los dinámicos, en los cuales se utilizan columnas de lecho fijo que posibilitan el estudio de los procesos de remoción en sistemas continuos. Este tipo de ensayos generaran una visión tecnológica que permite el escalado industrial. Para caracterizar el funcionamiento experimental de los procesos de adsorción de una columna de lecho fijo es necesario desarrollar experimentos que permitan representar curvas de ruptura, de esta forma se puede caracterizar el desempeño del sistema continuo.

Los objetivos del trabajo fueron: (a) Usar la matriz biocompuesta PQO desarrollada en anteriores trabajos como material adsorbente en una columna del lecho fijo para la adsorción del colorante RR195; (b) Evaluar diferentes parámetros operacionales tales como variación de concentración de alimentación de colorante, cantidad de adsorbente (altura de empaquetamiento) y caudal

volumétrico de alimentación del efluente para caracterizar la eficiencia del material adsorbente; (c) A partir de modelos de isotermas de adsorción determinar los parámetros de éstos y compararlos con los resultados obtenidos de los ensayos tipo batch; (d) utilizar diferentes ecuaciones matemáticas para modelar el comportamiento de la columna de adsorción.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Ensayos continuos de adsorción en columna de lecho fijo

El ensayo experimental consistió en usar como material adsorbente la matriz bio-compuesta (PQO), la cual consistió en pellets cerámicos (PellC) formulados con: 75% alúmina, 20% de bauxita, 2% caolín y 2 % talco desarrollados en el CETMIC (CONICET- CIC). Los PellC se activaron con una disolución de AO al 10% $m.v^{-1}$, posteriormente se colocaron en contacto con una disolución filmogénica de QS reticulado con AO. La caracterización de los materiales se realizó usando espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier-reflexión atenuada total (FTIR-ATR), microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos-X (DRX), los resultados de la caracterización morfológica y estructural de dicho material se reportó en trabajos anteriores (Pérez-Calderón y col., 2019).

El adsorbato consistió en una solución del colorante RR195 a pH=2 basado en ensayos previos tipo *batch*. Se usó una columna vidrio de 2.15 cm de diámetro interno y una altura total de 14.3 cm empaquetada con PQO. El caudal se controló con una bomba peristáltica conectada desde la parte inferior de la columna. La Fig.1a muestra el montaje experimental; en esta figura se presentan las micrografías (Fig.1 b-c) de la matriz bio-compuesta en la cual se evidencia la presencia de una QS que recubre el PellC.

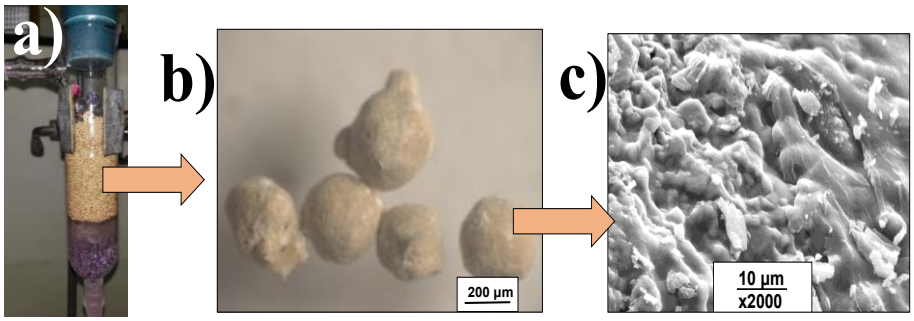


Figura 1. a) Esquema de empaquetamiento de la matriz bio-compuesta quitosano reticulado/pellet cerámico (PQO) en la columna de adsorción. **b)** Micrografías por estereomicroscopio y c) SEM

Se analizaron distintas condiciones para evaluar el funcionamiento de la columna de lecho fijo: cambios en la concentración de alimentación (C_0) (10, 15, 18, 25 $mg.L^{-1}$), altura del empaquetamiento (Z) (1,2.5, 5 cm) y el caudal volumétrico (F) (3, 6, 9 $mL.min^{-1}$). Se tomaron muestras en la salida de la columna a distintos tiempos y se determinó la concentración de colorante usando espectrofotómetro Hach DR 2800 (Loveland, EEUU) a 538 nm. Para evaluar la efectividad de la columna de adsorción se tuvieron en cuenta las curvas de ruptura (C_t/C_0 en función del tiempo (t)) siendo C_t y C_0 las concentraciones del colorante RR195 en la salida y entrada respectivamente.

Análisis de los experimentos de adsorción en columna de lecho fijo

La Fig.2 muestra las curvas de ruptura C_t/C_o en función del tiempo de operación de la columna; la zona de transferencia de masa comienza a desplazarse a lo largo de la columna a medida que

transcurre el tiempo de operación.

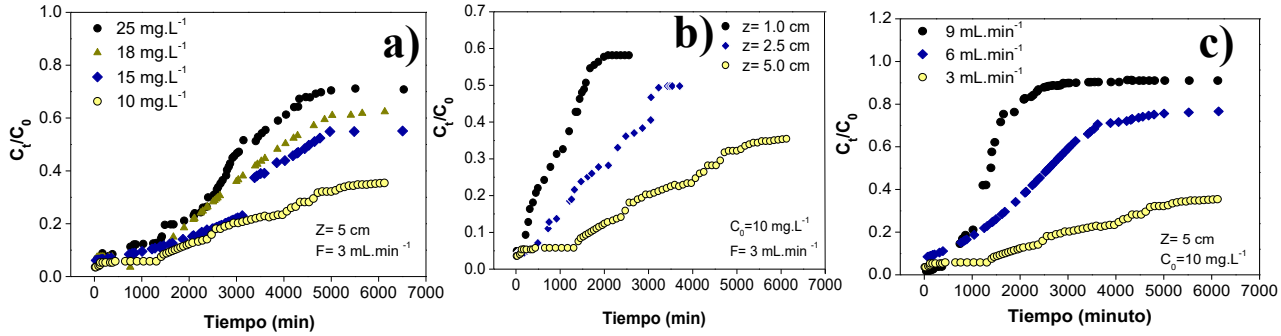


Figura 2. Curvas de ruptura para la adsorción del colorante RR195 en la columna. a) Efecto de la concentración de alimentación (C_0); b) Efecto de la longitud del empaquetamiento (Z) del adsorbente (PQO); c) Efecto del caudal volumétrico (F)

La isoterma de adsorción de los ensayos continuos de adsorción en columna de lecho fijo se analizó de acuerdo a Aksu y col.,(2002); para ello se usaron los resultados de la variación de la concentración inicial de alimentación (Fig. 2a).

A los efectos de obtener los parámetros de la isoterma de adsorción en ensayos dinámicos (no en batch) es necesario calcular la masa total (J_t; mg) de colorante adsorbido por el material adsorbente en la columna, J_t es igual al área bajo la curva de ruptura; este valor se expresa en mg y se determina según la Ec.1. Se calculó la capacidad de adsorción experimental de la columna (q_e) la cual corresponde a la masa de colorante adsorbido por unidad de masa de adsorbente utilizado; q_e se calculó mediante la Ec.2, donde M es la masa total del adsorbente activo. Los resultados de q_e y J_t se muestran en la Tabla 1.

$$J_t = \frac{F}{1000}\int_{t=0}^{t\ total} C_{ad}\,dt \qquad (1)$$

$$q_e = \frac{J_t}{M} \qquad (2)$$

La concentración de adsorbato en equilibrio (C_e; $mg.L^{-1}$) se calculó a partir de la Ec.3, en la cual W (mg) es la masa total de colorante circulado en la columna y V_{Total} es el volumen final de efluente circulado en todo el ensayo; W se calculó con la Ec.4 donde C_0 es la concentración inicial de alimentación y t_{total} el tiempo total de ensayo (min)

$$C_e = \frac{W - J_t}{V_{Total}} \times 1000 \qquad (3)$$

$$W = \frac{C_0\ F\ t_{Total}}{1000} \qquad (4)$$

La isoterma de sorción se analizó usando los modelos de Langmuir y Freundlich; para ello se utilizaron regresiones lineales de las ecuaciones (5) y (6) que describen cada uno de estos modelos respectivamente. Se tuvieron en cuenta los resultados reportados en la Tabla 1 de q_e (Ec.2) y C_e (Eq.3). La bondad del ajuste lineal se determinó calculando el coeficiente de determinación (R^2).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_m\,K_L} + \frac{1}{Q_m} \qquad (5)$$

$$\ln q_e = \ln(K_F) + n \ln C_e \qquad (6)$$

Tabla 1. Resultados de la masa total de colorante adsorbido (J_t), capacidad de adsorción experimental de la columna (q_e), concentración de adsorbato en el equilibrio (C_e) y cantidad total de colorante circulado en la columna (W). Condiciones: altura de empaquetamiento (Z)=5 cm, Caudal volumétrico (F)=3 mL.min^{-1}

C_0 (mg.L^{-1})	J_t (mg)	q_e (mg.g^{-1})	W (mg)	C_e (mg.L^{-1})
10	147.28	182.96	183.65	1.98
15	198.67	247.97	279.32	4.33
18	211.70	232.51	330.99	6.49
25	269.46	292.48	467.40	10.59

Para el caso de la isoterma de Langmuir (Ec.5), los parámetros determinados son la capacidad máxima de adsorción Q_{max} (mg/L) y la constante del modelo K_L (L/mg), los cuales se obtuvieron a partir la regresión lineal obtenida de graficar $\frac{C_e}{q_e}$ vs C_e. Los parámetros determinados del modelo de Freundlich (Ec.6) son K_F ((mg/g) (mg/L)$^{-1/n}$) la constate de Freundlich y n que es el factor de heterogeneidad; estos parámetros se determinaron a partir la regresión lineal obtenida de graficar $\ln(Q_e)$ vs $\ln(C_e)$.

Los parámetros calculados para el modelo de Langmuir (R^2=0.955) fueron: Q_m=331.1 mg.g^{-1} (DE=41.5)) K_L=0.55 L/mg (DE=0.082). Para el modelo de Freundlich (R^2=0.80) los resultados fueron: K_F= 159.80 mg/g.mg/L$^{-1/n}$ y n=3.91 (R^2). En base a estos resultados se puede destacar que el modelo que mejor representa el equilibrio de adsorción en el ensayo dinámica es el modelo de Langmuir, además el valor de Q_m determinado da próximo a la Q_m de los ensayos en batch (Q_{max}=333.9 mg.g^{-1}) (Pérez-Calderón y col., 2019).

Modelos de adsorción en columna de lecho fijo

Debe tenerse en cuenta que según Chu (2010) el modelo de Thomas está directamente relacionado con el de Bohart-Adams, por lo tanto se presentarán los resultados del modelo de Thomas. En la ecuación del modelo de Thomas (Ec.7) k_T es el coeficiente de dicho modelo (mL.min^{-1}.mg-^{1}), q_{0T} es la capacidad de adsorción de la columna en equilibrio (mg.g^{-1}). El modelo de Yan (Ec.8) minimiza el error resultante en el uso del modelo Thomas, especialmente a tiempos tendiendo a cero; en este modelo empírico b_Y (L) es el volumen máximo de rendimiento en el proceso que produce una respuesta en el proceso de adsorción, y a_Y es el coeficiente de la ecuación. A partir de b_Y se calcula la capacidad de adsorción (q_{0Y}) por medio de la Ec.9. Los resultados de los diferentes modelos se evaluaron analizando el coeficiente de determinación (R^2) y el error porcentual absoluto medio (%e).

$$\mathrm{Ln}\left(\frac{C_0}{C_t}-1\right)=\frac{k_T\, q_{0T}\, M}{F}-k_T\, C_0\, t \qquad (7)$$

$$\frac{C_t}{C_0}=1-\frac{1}{1+\left(\frac{F\,.\,t}{b_Y}\right)^{a_Y}} \qquad (8)$$

$$q_{0Y}=\frac{b_Y\, C_0}{M} \qquad (9)$$

Los resultados de los diferentes modelos se muestran en la Tabla 2. Los parámetros determinados por cada uno de los modelos (Tabla 2) muestran ciertas tendencias con respecto a los cambios en las condiciones experimentadas (C_0, F y Z). Según los parámetros estadísticos el modelo que mejor ajustó los resultados experimentales fue el modelo Yan. Para dicho modelo, se encontró que a_Y aumentaba con el incremento de F y Z. Para b_Y se observó que disminuía con el aumento de C_0 y F; por otro lado b_Y aumentó al incrementarse Z.

Tabla 2. Parámetros experimentales y resultados obtenidos de los parámetros de los modelos de Thomas y Yan

Condiciones Experimentales				q_e	Modelo Thomas				Modelo Yan				
C_0	Z	F	J_t		q_{0T}	k_T	R^2	%e	q_{0Y}	b x 10^3	a	R^2	%e
10	1.0	3	46.71	265.22	305	0.134	0.87	5.23	286	5	1.11	0.98	5.88
10	2.5	3	79.46	220.73	271	0.090	0.95	1.71	312	11	1.29	0.98	16.80
10	5.0	3	147.28	182.96	247	0.045	0.96	0.30	357	28	1.23	0.97	0.22
15	5.0	3	198.67	197.27	274	0.039	0.96	1.04	271	14	2.03	0.92	19.15
18	5.0	3	211.70	232.51	250	0.031	0.96	28.11	243	12	1.83	16.96	16.96
25	5.0	3	269.46	292.48	346	0.029	0.96	2.80	326	10	2.11	0.96	0.29
10	5.0	6	158.70	197.27	216	0.073	0.94	1.60	190	15	1.80	0.97	31.73
10	5.0	9	116.53	144.52	201	0.117	0.71	37.88	150	12	2.90	0.98	8.59

Z [cm] F [mL.min^{-1}] C_0[mg.L^{-1}] q_e /q_{0Y} /q_{0T} [mg.g^{-1}] k_T [mL.min^{-1}.mg-^{1}] b [L]

Modelo de tiempo de servicio de altura de lecho (BDST)

A partir de las curvas de ruptura obtenidas de los ensayos dinámicos (Fig.2) y estableciendo una concentración determinada de adsorbato a la salida de la columna (C_b), se puede definir el tiempo de ruptura (t_b) el cual corresponde al tiempo determinado para alcanzar dicha C_b, este parámetro es importante para definir el modelo BDST, el cual muestra una relación lineal entre el t_b y una dada relación de C_t/C_0 a una altura específica del lecho de la columna (Z). Para evitar errores en la aplicación del modelo se trabajó con una relación de C_t/C_0=0.5 (Ec.10), donde $No_{0.5}$ es la capacidad dinámica del lecho (mg. L^{-1}) la cual corresponde a la relación entre la masa del adsorbato y el volumen total del lecho fijo, Z es la altura del lecho (cm), u es la velocidad de fujo lineal (cm.min^{-1}).

$$t_{b\,0.5} = \frac{No_{0.5}}{C_0\ u}\ Z = a_{0.5}\ Z \qquad (10)$$

Se utilizó la Ec.10 para calcular el tiempo t_b correspondiente a una relación C_t/C_0=0.5 ($t_{b0.5}$). Se compararon los tiempos de ruptura experimentales ($t_{b0.5}$E) y predichos ($t_{b0.5}$P). El modelo de BDST ofrece la posibilidad de predecir los t_b para diferentes condiciones de ensayo a partir de las curvas experimentales (Fig.2b) para cada una de las Z ensayadas (1.0; 2.5; 5.0 cm).

Se usaron los valores experimentales de los t_b correspondientes a C_t/C_0 =0.13; 0.22; 0.33 para cada una de las Z ensayadas; esto permitió calcular por medio de la regresión lineal la pendiente (a) para cada C_t/C_0. Posteriormente se graficaron los valores del coeficiente a en función de las distintas relaciones C_t/C_0 resultando la ecuación de la recta $a=2070.8\ C_t/C_0 + 272.99$ (R^2=0.998), con la cual se calculó $a_{0.5}$; con esta ecuación se pudieron obtener los tiempos de ruptura predichos ($t_{b0.5}$P) para Z=1.0 y 2.5 cm usando la Ec.6. Estos resultados se compararon con los tiempos de ruptura experimentales ($t_{b0.5}$E) obtenidos en las curvas (Fig.2b). Los resultados se presentan en la Tabla 3, y puede observarse que hay muy buena concordancia entre los valores experimentales y predichos comprobando que el modelo BDST es adecuado para ser utilizado cuando se quiere diseñar bajo condiciones operativas diferentes de las ensayadas experimentalmente, lo cual es importante a nivel industrial.

Tabla 3. Resultados de los tiempos de ruptura predichos ($t_{b0.5}P$) y experimentales ($t_{b0.5}E$) para lograr la relación de C_t/C_0=0.5 con distintas alturas (Z) de relleno. Entre paréntesis se muestra la desviación estándar

Z (cm)	$t_{b0.5}E$ (min)	$t_{b0.5}P$ (min)	%e
1.0	1444.4	1308.4 (81.7)	9.42
2.5	3429.1	3270.9 (204.4)	4.61

CONCLUSIONES

La matriz bio-compuesta es un excelente material para la remoción de colorantes con implicancias tecnológicas ya que puede utilizarse en columnas de adsorción de lecho fijo. A partir de los resultados de las curvas de ruptura para la variación de la concentración de alimentación, fue posible analizar las isotermas en el equilibrio de adsorción siendo el modelo de Langmuir el que mejor representa los resultados experimentales; usando este modelo se pudo calcular la capacidad máxima de adsorción (Q_m) de la columna para el colorante RR195, dicho resultado se comparó con los resultados obtenidos en ensayos tipo batch. A través de diferentes experimentos se analizó el efecto de las condiciones operativas en el proceso de adsorción. Usando las ecuaciones de Thomas y Yan se modelaron matemáticamente las curvas de ruptura obteniendo diferentes parámetros; el análisis de éstos permite comparar los resultados experimentales (capacidad de adsorción) con los obtenidos matemáticamente.

El modelo de Yan presentó buena concordancia entre los valores experimentales y predichos. Los ensayos dinámicos empleando columnas en escala experimental son adaptables a casos reales, esto proporciona una mejor visión del comportamiento de los sistemas de adsorción. Se aplicó el modelo BDST permitiendo realizar predicciones de los sistemas bajo condiciones operativas diferentes a las testeadas, lo cual resulta útil para el diseño de columnas en condiciones industriales.

REFERENCIAS

Aksu, Z., Gönen, F., Demircan, Z. (2002). Biosorption of chromium(VI) ions by Mowital®B30H resin immobilized activated sludge in a packed bed: Comparison with granular activated carbon. Process Biochemistry, 38(2), 175–186.

Boddu, V. M., Abburi, K., Talbott, J. L., Smith, E. D. (2003). Removal of hexavalent chromium from wastewater using a new composite chitosan biosorbent. Environmental Science and Technology, 37(19), 4449–4456.

Chu, K. H. (2010). Fixed bed sorption: setting the record straight on the Bohart–Adams and Thomas models. Journal of Hazardous Materials, 177(1–3), 1006–1012.

Lin, X., Li, R., Wen, Q., Wu, J., Fan, J., Jin, X., Ying, H. (2013). Experimental and modeling studies on the sorption breakthrough behaviors of butanol from aqueous solution in a fixed-bed of KA-I resin. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 18(2), 223–233.

Pérez-Calderón, J., Scian, A., Ducos, M., Santos, V., Zaritzky, N. (2019). Estudio de la remoción de colorantes sintéticos usando una matriz bio-compuesta con materiales cerámicos y quitosano reticulado iónicamente. V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de La Facultad de Ingeniería (La Plata, 2019, 583–589). Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/75618

Evaluación de las condiciones del proceso de extracción de queratina mediante hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio

Orjuela-Palacio, Juliana M.[1], Zaritzky Noemí E. [1,2]

[1]Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos- CIDCA (CONICET, Facultad de Ciencias Exactas UNLP, CIC-PBA, Argentina), La Plata- Buenos Aires, CP: 1900, Argentina. [2]Depto. de Ingeniería Química- Facultad de Ingeniería (Universidad Nacional de La Plata, Argentina), Calle 1 y 47 La Plata Buenos Aires, CP: 1900, Argentina.
julianaorjuela11@gmail.com

Palabras Claves: plumas de pollo, queratina, hidróxido de sodio, proteína soluble

1. Introducción

La queratina es una proteína de alto valor presente en las plumas, que constituyen un residuo de la industria avícola de difícil disposición. La misma es altamente insoluble en solventes polares, debido en gran parte al alto contenido de los grupos cistina, los cuales mantienen las cadenas polipeptídicas en una estructura tridimensional (Shavandi y col., 2017), dificultando la utilización de la proteína en diferentes procesos. Para lograr la solubilización es necesario la modificación de la estructura rompiendo las uniones intramoleculares como los puentes disulfuro y enlaces de menor energía como los puentes de hidrógeno, sin afectar los enlaces peptídicos. Existen diversos métodos de obtención y extracción de las queratinas a partir de las diferentes biomasas. La extracción implica al menos la escisión de los enlaces disulfuro (S-S), rompiendo las microfibrillas para proporcionar las moléculas de queratina separadas (Schrooyen y col., 2007). La reducción de los puentes disulfuro puede hacerse de diversas formas, dependiendo del agente reductor empleado, algunos de los agentes reductores convencionales más aplicados han sido el 2-mercaptoetanol (2-MEC), Ditiotreitol (DTT), altamente contaminantes y agresivos para el operador. El hidróxido de sodio (NaOH) es un reactivo alternativo menos tóxico y económico, su empleo en conjunto con moderadas a altas temperaturas para tratar biomasas ricas en queratina, provoca la hidrólisis de las moléculas de cistina dando lugar a aminoácidos libres modificados solubles en agua (Nagai y col.,1970) (Figura 1).

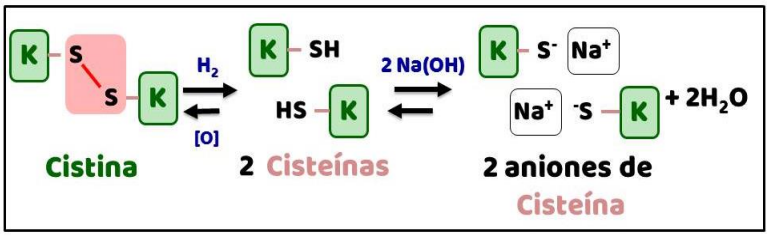


Figura. 1. Hidrolisis de la molécula de cistina en medio alcalino con NaOH.

El hidróxido de sodio puede ser considerado como un potente agente solubilizante de las plumas de pollo, sin embargo, los procesos suelen usar altas concentraciones y requieren una posterior etapa de neutralización; por otra parte la queratina puede ser degradada en condiciones alcalinas (pH>9), altas concentraciones y elevadas temperaturas, produciendo la hidrólisis irreversible de dichas moléculas (Shavandi y col., 2017).

El objetivo del presente trabajo fue aplicar y comparar diferentes condiciones del proceso de solubilización de plumas (temperatura, tiempo, concentración de los agentes reductores/oxidantes, entre otros) utilizando hidróxido de sodio (NaOH), un reactivo, menos tóxico para el manipulador, que los tradicionalmente empleados en los procesos de reducción de queratina.

2. Materiales y métodos

Se utilizaron plumas de pollos parrilleros líneas COBB y ROSS producidos por reproductoras pesadas, las cuales fueron provistas por Domvil SA - Frigorífico Aveguay de Entre Ríos, Argentina.

2.1 Adecuación de las plumas de pollo

Las plumas de pollo se lavaron con agua corriente y detergente común con agitación constante, retirando el material extraño (piedras, restos de tejidos, picos, fibras, etc.); se retiró el exceso de detergente y se continuó con una inmersión de las plumas en una mezcla de agua destilada-etanol 96 % (50:50). Las plumas lavadas se filtraron retirando la mayor cantidad de agua posible y se secaron en estufa por 24 h a 30 °C. Las plumas secas se molieron en un molino tipo ciclón y se desengrasaron con éter de petróleo (10 mL / g de pluma seca) por 4 h con agitación constante. Se filtró y removió el exceso de solvente y las plumas se secaron a 30°C por 24 h.

El contenido de humedad de las plumas molidas y desgrasadas se determinó de acuerdo al método de la AOAC (2010) y el contenido de proteína total mediante el método de Kjeldahl AOAC (2010), usando un factor de conversión de 5.71 (Grazziotin y col., 2006; Sinkiewicz y col., 2017).

2.2 Solubilización de plumas de pollo mediante hidrolisis alcalina

La solubilización de plumas de pollo se realizó mediante la hidrolisis alcalina con hidróxido de sodio. Se disolvieron 5 g de plumas de pollo previamente acondicionadas en 100 mL de solución de NaOH con diferentes concentraciones (0,5, 1, 2, 3, 4 y 5 % m/v) y pH entre 11 y 12. La solubilización se llevó a cabo aplicando diferentes condiciones temperatura/tiempo: a) 60 °C y 1 h; b) 40 °C y 2 h; c) 30 °C y 6 h; d) 20 °C y 24 h. Las dispersiones obtenidas en cada caso se filtraron con lienzo con el fin de retirar los residuos de pluma sin disolver. Las plumas no disueltas se secaron a 105 ± 0,1 ºC en una estufa con circulación forzada de aire (Sanjor serie SL DB; Buenos Aires, Argentina).

2.3 Obtención de queratina en polvo

El pH de las dispersiones de queratina obtenidas se ajustó a 4,2 usando ácido clorhídrico (HCl; 2 N) con el fin de precipitarla; dicho pH correspondiente al punto isoeléctrico de la proteína, (Schrooyen y col., 2007; Wrzesniewska-Tosik, 2007). Las muestras se centrifugaron durante 15 minutos a 10 °C a 3000 rpm durante 10 minutos usando una centrífuga Rolco CM 2036 (Buenos Aires, Argentina). El sobrenadante se retiró y los pellets obtenidos se lavaron con agua destilada y se almacenaron a – 40 °C hasta el secado por liofilización en un equipo HETO Modelo FD 4. La queratina liofilizada se almacenó a 20 °C en un desecador hermético hasta su caracterización.

2.4 Caracterización de hidrolizados de queratina

2.4.1 Rendimiento de extracción

Se determinó el rendimiento de solubilización de las plumas de pollo para las diferentes condiciones de proceso evaluadas. El porcentaje de pluma solubilizada (*Sol_{pluma}, % p/p*) se calculó a través de la ecuación 1.

$$\mathrm{Sol_{pluma}}\ (\%) = ((P_p - P_s)/P_p))] * 100 \qquad \textbf{Ec. 1}$$

Donde *Ps* el peso del residuo seco y *Pp* el peso de las plumas acondicionadas.

2.4.2 Medición del pH

El pH de las dispersiones de queratina se midió con un pHmetro S-610L pH meter (PEAK INSTRUMENTS INC, USA) a 25ºC. Las mediciones se hicieron por duplicado.

2.4.3 Determinación de proteína soluble

Se determinó la concentración de proteína soluble mediante el ensayo espectrofotométrico de Biuret (cita). Para la reacción con los derivados de queratina, se centrifugaron 1 mL de muestra durante 10 min a 13000 rpm y 25 ºC en una microcentrifuga (5415D Benchtop, Eppendorf). Se tomó 0,3 mL del sobrenadante y se traspasó a un tubo de ensayo al cual se adicionó 0,2 mL de agua destilada y 2 mL del Reactivo de Biuret (NaOH [10 % p/v]). La reacción se incubó a 25 ºC durante 30 minutos. La absorbancia se leyó en un espectrofotómetro UV mini-1240 UV-Vis (HACH DR-2800) a una longitud de onda λ= 550 nm.

2.4.4 Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) con Reflectancia total atenuada (ATR)

Los espectros infrarrojos de transformada de Fourier (FTIR) con reflectancia total atenuada (ATR) de los derivados liofilizados de queratina y de las plumas de pollo, se obtuvieron con un espectrómetro Nicolet IS10 (Thermo- Scientific) (Thermo Fisher Scientific Inc., Rockford, USA) con accesorio de ATR (diamante). Se trabajó en un rango de números de onda desde 4000 a 400 cm^{-1}. Para cada muestra se colectaron 60 barridos con una resolución de 4 cm^{-1} que fueron acumulados. Los datos obtenidos se procesaron utilizando el software OMNIC TM de Thermo ScientificTM.

2.5 Análisis estadístico

Se realizó el correspondiente análisis estadístico de varianza mediante ANOVAS con el software Infostat v. 2013 (Grupo InfoStat, FCA, Argentina), las diferencias se compararon mediante el test de Tukey usando un nivel de significancia α= 0.05.

3. Resultados y discusión

Las plumas de pollo empleadas en el presente trabajo presentaron un contenido de humedad de 3,46 ± 0,12 % p/p (base húmeda) y un contenido de proteína total de 89,09 ± 0,4 %.

La queratina presente en las plumas de pollo presenta un alto contenido de enlaces disulfuro y de aminoácidos hidrófobicos, siendo insoluble en agua. Mediante el proceso de solubilización por hidrolisis alcalina con NaOH, se logró disolver las plumas de pollo y obtener dispersiones de queratina (Figura 2).

La aplicación de hidrólisis química ya sea ácida o básica, conlleva a la destrucción de la estructura nativa de la queratina y las plumas se vuelven más solubles en agua. La hidrólisis ácida es más eficiente, pero causa pérdida de algunos aminoácidos como el triptófano (Zhang y col., 2013), mientras que la hidrolisis alcalina es
más lenta y suele ser incompleta, proporcionando una menor pérdida de aminoácidos.

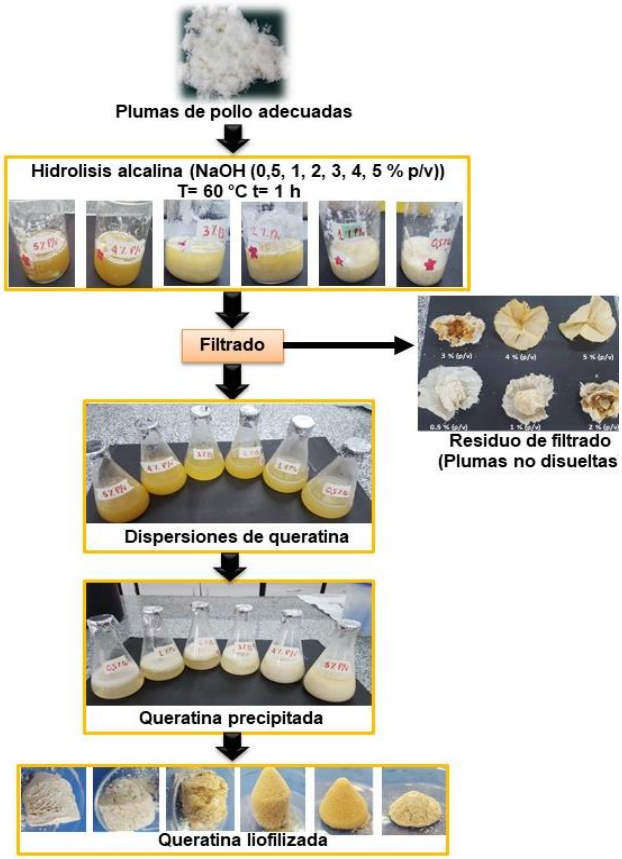
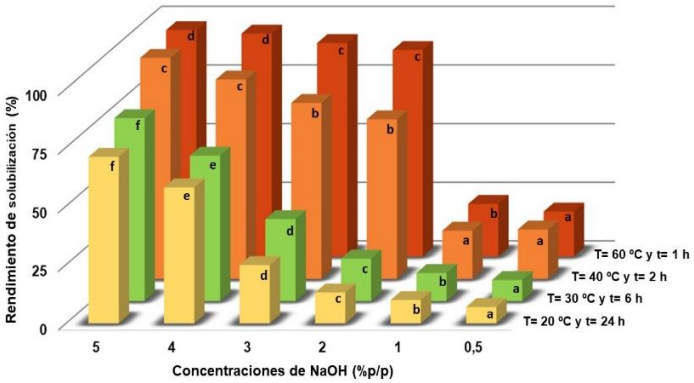


Figura 2. Esquema del proceso de obtención de queratina mediante hidrólisis alcalina.

3.1 Rendimiento del proceso de extracción de queratina

Se analizó el rendimiento de solubilización de las plumas de pollo mediante hidrolisis con NaOH y las diferentes condiciones de proceso aplicadas. Los valores más altos de ***% Sol$_{pluma}$*** se obtuvieron cuando se aplicó mayor temperatura y menor tiempo de reacción (a) 60 °C y 1 h y (b) 40 °C y 2 h). En el caso (a) con concentraciones de NaOH de 4-5 %p/p el rendimiento fue de 95-96 % (p>0,05), para NaOH 2-3 %p/p fue de 88 y 91 % ***Sol$_{pluma}$*** respectivamente (p>0,05) y se observó un descenso significativo (p<0,05) del 68 % en el rendimiento del proceso cuando se emplean concentraciones inferiores al 2 % NaOH.



Para cada tratamiento, las columnas con letras (a,b,c,d) distintas difieren significativamente según la prueba de Tuckey (p<0.05).

Figura 3. Rendimiento de solubilización de plumas de pollo mediante hidrólisis alcalina. a) 60 °C y 1 h; b) 40 °C y 2 h; c) 30 °C y 6 h; d) 20 °C y 24 h

Una tendencia similar se presentó en los otros casos, indicando que el efecto de la concentración del reactivo fue preponderante sobre la modificación de temperatura y tiempo de reacción aplicadas (Figura 3). Estos resultados concuerdan con los reportados por Sinkiewicz y col., (2017), quienes indicaron un descenso del rendimiento de 93 a 29 % con la disminución de la concentración de NaOH (2,5-1,0 % p/p) a 70ºC y 75 min. La disminución de la temperatura del proceso y el correspondiente aumento en el tiempo de reacción condujo al descenso en los rendimientos de solubilización, siendo significativo (p<0,05) cuando el proceso de extracción se lleva a cabo a (c) 30 °C y 6 h o d) 20 °C y 24 h. Schrooyen y col., (2000), reportaron para la solubilización de plumas con 2-MEC valores de solubilización de 75 %; Sinkiewicz y col., (2017) reportaron un rendimiento del 83 % para extracciones de queratina de plumas de pollo usando 2-MEC, 82,4 % con bisulfito de sodio y 77,6 % con DTT cuando se aplican condiciones de proceso de 50ºC y 2 h.

Por otra parte, se analizó la variación del contenido de proteína soluble en las dispersiones de queratina obtenidas (figura 3).

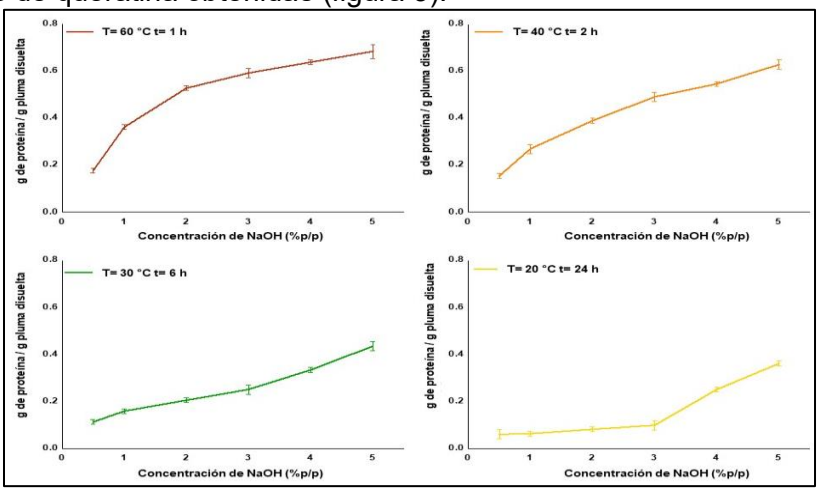


Figura 4. Proteína soluble de las dispersiones de queratina obtenidas mediante hidrólisis alcalina con diferentes relaciones de temperatura y tiempo de reacción.

El incremento en el contenido de proteína soluble presente en las dispersiones de queratina como ya se mencionó está directamente vinculado con el aumento de la concentración del NaOH (Figura 4); asimismo, dichos valores fueron significativamente ($p<0,05$) mayores para procesos que aplican temperaturas más altas y tiempos menores de reacción. Estos resultados se corresponden con el rendimiento de solubilización (Figura 3), pero además indican que las condiciones aplicadas no generan la formación de agregados proteicos. El uso de NaOH es una alternativa al proceso de obtención de queratina soluble, siendo un reactivo más económico y un proceso más amigable con el ambiente ya que posteriormente se neutraliza con ácido clorhídrico en la etapa de precipitación, alcanzándose un rendimiento del 96 % y 0,68 g de queratina/g de pluma en 1 h de proceso cuando se aplica la 60 ºC y 5-4 % NaOH %p/p. También se destaca que en este procedimiento no se incluye ninguna etapa de diálisis

3.4 Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

Con el fin de analizar la estructura química de las plumas de pollo y de la queratina en polvo obtenida mediante hidrólisis alcalina con NaOH, se utilizó la metodología de análisis por FTIR-ATR. En la figura 5 A se presenta el espectro FTIR-ATR de las plumas de pollo adecuadas y en la Fig 5B los de queratina liofilizada obtenida mediante hidrólisis alcalina.

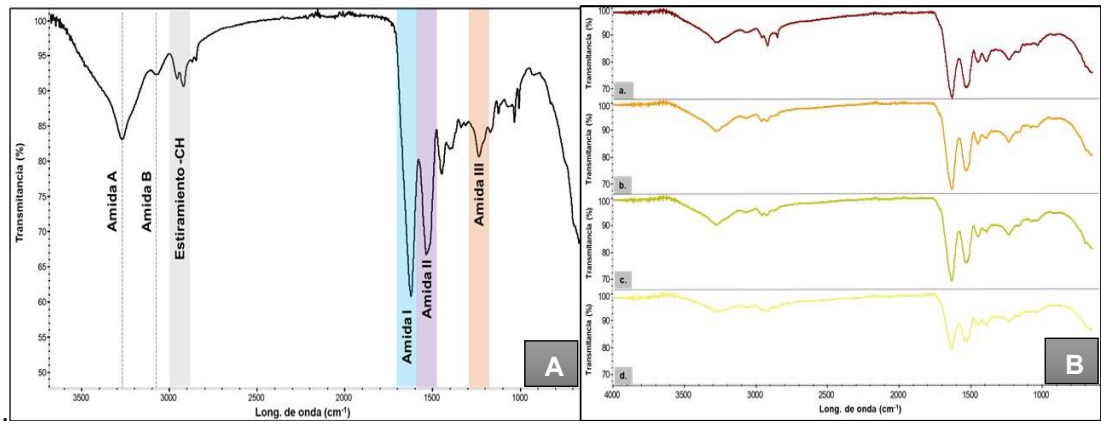


Figura 5. Espectros FTIR-ATR **A.** de plumas de pollo adecuadas. **B.** de queratina liofilizada obtenida mediante hidrolisis alcalina: **a)** NaOH (5 % p/v) a 60 ºC, 1 h; **b)** NaOH (5 % p/v) a 40 ºC, 3 h; **c)** NaOH (5 % p/v) a 30 ºC, 6 h, **d)** NaOH (5 % p/v) a 20 ºC, 24 h.

En la figura 5A se observa la banda Amida A (3312 cm^{-1}) que ha sido asociada con las regiones ordenadas en la estructura alfa hélice de la proteína y corresponde al modo de vibración simétrico *v*(NH) (Tesfaye y col., 2017). El pico presente en las longitudes onda 3080-3075 cm^{-1} correspondiente a la banda de Amida B (Martínez-Hernández y col., 2005). En el rango 3100-2700 cm^{-1} ha sido asociado a los aminoácidos iónicos dipolares $RCH(NH_3^+)COO^-$ (Tesfaye y col., 2017), el catión NH_3^+ corresponde a varias bandas para dicho rango con modos vibracionales de estiramiento simétricos (*v*(NH) y asimétricos (*va*(NH)) (Martinez-Hernández y Velasco-Santos , 2005). El hombro observado a 2960 cm^{-1} corresponde a la vibración asimétrica (*va*(CH_3)) (Tesfaye y col., 2017). En la región 1700 a 400 cm^{-1} se encontraron las bandas correspondientes a los enlaces peptídicos identificados como las Amidas I, II y III, en las longitudes de onda de 1632, 1530 y 1239 cm^{-1} respectivamente (Figura 5A). Estas bandas proporcionan información importante sobre la conformación de la estructura de la queratina presente en las plumas de pollo. La Amida I (1600 a 1690 cm^{-1}) es una combinación de las estructuras α-hélice y hoja β-plana y está relacionada con las vibraciones de ν(C=O). La Amida II (1580-1480 cm^{-1}) está relacionada con la flexión del δ(N-H) y el estiramiento del enlace ν(C-H) (Martinez-Hernandez y Velasco-Santos, 2005; Sharma y col., 2017). La Amida III (1300 y 1220 cm^{-1}) se deriva del estiramiento simétrico *v*(C-N) y la flexión de δ(CH), la región entre 1230-1240 cm^{-1} puede ser asignada a la estructura de hoja β-plana de la Amida III (Martínez-Hernández y Velasco-Santos 2005).En la figura 5B, se

presentan los espectros FTIR-ATR de la queratina liofilizada obtenida mediante hidrólisis alcalina en los casos: **a)** NaOH (5 % p/v) a 60 ºC, 1 h; **b)** NaOH (5 % p/v) a 40 ºC, 3 h; **c)** NaOH (5 % p/v) a 30 ºC, 6 h y **d)** NaOH (5 % p/v) a 20 ºC, 24 h. En dichos espectros, se observa la presencia de la banda Amida A en la longitud de onda 3275 cm^{-1}, la Amida B a 3073 cm^{-1}, así como las señales correspondientes al estiramiento del grupo –CH (2960 – 2920 cm^{-1}). La Amida I se observó a 1638 cm^{-1}, la Amida II se presentó a 1533-1535 cm^{-1} y la Amida III se presentó a 1236 cm^{-1}. En los espectros **5B(a- d)** se evidencia la presencia de las bandas representativas correspondientes a la queratina presente en las plumas de pollo, confirmando que para las condiciones de proceso evaluadas se obtienen derivados de queratina que conservan la estructura de la proteína.

5. Conclusiones

Se evaluaron diferentes condiciones del proceso de obtención de queratina a partir de las plumas de pollo mediante la hidrólisis con NaOH, identificando que el rendimiento del proceso dependerá de las condiciones como la concentración de los reactivos, la temperatura y el tiempo de reacción. Los porcentajes más altos de rendimiento se lograron cuando se aplicaron altas concentraciones del reactivo en conjunto con las mayores temperaturas y menores tiempos de reacción (3 a 5 % NaOH, 60 ºC y 1 h); obteniendo a la vez dispersiones con altos contenidos de queratina soluble. El análisis FTIR-ATR de la queratina obtenida, confirmó la presencia de los señales características de la proteína en su forma nativa (pluma) como la Amida A, I, II, III asociados a la fracción de α-hélice y hoja β-plana, indicando que en las condiciones aplicadas se logró extraer queratina sin degradarla totalmente.
Esta metodología que puede reemplazar los agentes reductores tradicionales por uno menos contaminante y más económico, es una alternativa viable para la obtención de queratina a nivel industrial.

Referencias

- AOAC. In Helrich, K. (ed.) Official methods of analysis. Virginia: Association of Official Analytical Chemists (2010)
- Grazziotin, A., Pimentel, F.A., De Jong, E.V., Brandelli, A. (2006). Nutritional improvement of feather protein by treatment with microbial keratinase. Anim. Feed Sci. Technol. 1261, 135–144
- Martínez-Hernández, A.L.; Velsco-Santos de Icaza, M. y Castaño, V.M. (2005). Microstructural characterisation of keratin fibres from chicken feathers. International Journal of Environment and Pollution, 23 (2), 162-177.
- Nagai, Y., & Nishikawa, T. (1970). Alkali Solubilization of Chicken Feather Keratin. Agricultural and Biological Chemistry, 34(1), 16–22
- Schrooyen, P. M. M., Dijkstra, P. J., Oberthü, R. G., Bantjes, A., & Feijen, J. (2000). Partially carboxymethylated feather keratins. 1. Properties in aqueous systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48(9), 4326–4334. https://doi.org/10.1021/jf9913155
- Schrooyen, P.M. y Oberthur, R. (2007). Keratin-based products and methods for their productions. Nederlands, Stichting Nederlands Instituut voor Zuivelonderzoek. Patent No.: US 7169896 B2.
- Schrooyen, P.M., Dijkstra, P, Oberthur, R Bantjes, A y Feijen, J. (2001). Partially carboxymethylated feather keratins. 2. Thermal and mechanical properties of the films. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49, 221-230
- Sharma, S., y Gupta, A. (2016). Sustainable Management of Keratin Waste Biomass: Applications and Future Perspectives. Brazilian Archives of Biology and Technology, 59, 1–14.
- Shavandi, A., Silva, T. H., Bekhit, A. A., y Bekhit, A. E.-D. A. (2017). Keratin: dissolution, extraction and biomedical application. Biomaterials Science, 5(9), 1699–1735.
- Sinkiewicz, I., Śliwińska, A., Staroszczyk, H., & Kołodziejska, I. (2016). Alternative Methods of Preparation of Soluble Keratin from Chicken Feathers. Waste and Biomass Valorization, 8(4), 1043–1048.
- Wrzesniwska-Tosik, K. y Adamiek, J. (2007). Biocomposites with a content of keratin from chicken feathers. *Fibers and textiles in Eastern Europe*. Vol 15 N° 1(60) 106.
- Zhang, J., Li, Y., Li, J., Zhao, Z., Liu, X., Li, Z., Han, Y., Hu, J., Chen, A. (2013). Isolation and characterization of biofunctional keratin particles extracted from wool wastes. *Powder Technol.* 246, 356–362 (2013)

CINÉTICA DE LA KETALIZACIÓN DE GLICEROL CON ACETONA SOBRE ZIRCONIA SULFATADA

Vannucci, Julián A. [1], Nichio, Nora N. [1], Pompeo Francisco[1*].

[1] *Laboratorio de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Calle 1 esq. 47, CP 1900, La Plata, Argentina.*
* *fpompeo@quimica.unlp.edu.ar*

Palabras Claves: solketal, zirconia sulfatada, reactor batch, modelo cinético

RESUMEN

En este trabajo, una serie de catalizadores ácidos fueron sintetizados a partir de un óxido de zirconio comercial impregnados con una solución 0,5M de H_2SO_4. Los resultados de caracterización mostraron una correlación entre la temperatura de calcinación y los sitios ácidos generados en el material. Entre los catalizadores preparados, la zirconia sulfatada calcinada en aire a 400 °C (Zr-S-400), fue la más activa debido a su mayor densidad y fuerza de sitios ácidos causado por la generación de nuevos sitios de Brönsted. El catalizador Zr-S-400 mostró una velocidad de reacción inicial de 0,0497 $mol.min^{-1}.g^{-1}$, y alcanzó una conversión de glicerol del 80% en 1 hora de reacción a 40°C (relación molar glicerol:acetona = 1:6).

Adicionalmente, la termodinámica y cinética de la reacción fue evaluada. Las siguientes propiedades termodinámicas fueron estimadas: ΔH^o = -11,6 ± 1,1 $kJ.mol^{-1}$ y ΔG^o = 4,0 ± 0,1 $kJ.mol^{-1}$. Teniendo en cuenta que la adsorción de agua no afecta el número de sitios ácidos disponibles en el catalizador, se desarrolló una expresión cinética simple, del tipo pseudo-homogenea, y se ajustaron los datos experimentales en el rango estudiado. Basado en este modelo, la energía de activación estimada para la reacción fue de 88,1 ± 8,9 $kJ.mol^{-1}$.

INTRODUCCIÓN

El glicerol representa una de las moléculas plataformas con mayor cantidad de aplicaciones en diversas industrias. En la actualidad, el desarrollo de nuevas tecnologías para otorgarle valor agregado al glicerol se ha convertido en uno de los focos de investigación a nivel mundial. En particular, la valorización mediante procesos catalíticos como la condensación de glicerol con acetona para la síntesis de solketal (Figura 1) ha resultado de gran interés [1], por sus potenciales aplicaciones como solvente verde, plastificante en la industria polimérica [2], agente solubilizante en sistemas biodegradables para la liberación controlada de sustancias medicinalmente activas [3] y como aditivo para naftas en las cuales permite aumentar el número de octano y reducir la formación de gomas [4].

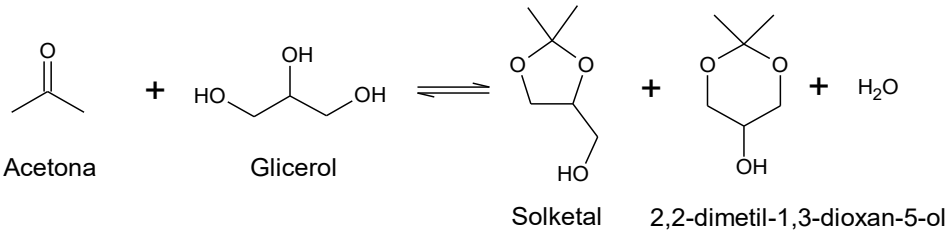


Figura 1: Ketalización de glicerol con acetona.

Dado que la miscibilidad entre el glicerol y la acetona es baja, normalmente se suele emplear un exceso de acetona para mejorar la solubilidad y a su vez, desplazar el equilibrio químico hacia la formación de solketal. A pesar de estos problemas de solubilidad, varios autores reportaron la síntesis de solketal con catalizadores heterogéneos como resinas de

intercambio iónico, heteropoliácidos, zeolitas, sílices mesoestructuradas [2] y arcillas acidificadas [5].

Los óxidos metálicos promovidos representan uno de los catalizadores prometedores para este tipo de reacción debido a su estabilidad, actividad y regenerabilidad. En reacciones que se requieren materiales ácidos, las especies sulfato representan uno de los aditivos más utilizados para óxidos metálicos [6]. Reddy et al. comparo diversos aditivos de zirconia, como W, Mo y iones sulfato concluyendo que las especies sulfato generan una mayor actividad catalítica del material debido a que otorga al mismo una mayor área superficial y número de sitios ácidos [7]. Aunque este estudio demostró la eficacia de la zirconia sulfatada en la ketalización de glicerol, la estabilidad y la cinética de la reacción no fueron estudiadas.

El objetivo de este trabajo es el de desarrollar un catalizador eficiente para la síntesis de solketal y determinar los parámetros termodinámicos y cinéticos del mismo. Con este propósito se decidió modificar ZrO_2 comercial con H_2SO_4 mediante la técnica de impregnación húmeda. Una vez demostrada la eficiencia y estabilidad del catalizador, se recolectó información para determinar una expresión cinética que describe correctamente la reacción, y se emplearon técnicas de caracterización como DRX, adsorción-desorción de N_2 y FTIR con adsorción de piridina para correlacionar los resultados de la actividad catalítica con las propiedades del material.

EXPERIMENTAL

Materiales

El Glicerol (99,5%), etanol absoluto (99,5%) y ácido sulfúrico (98%) fueron comprados de Cicarelli. La Acetona (99,5%), n-propanol (99,3%), y acetonitrilo (99,8%) fueron comprados de Anedra. Solketal (98,2%) fue comprador de TCI Chemicals, y el óxido de zirconio fue comprado de MEL Chemicals.

Síntesis del catalizador

El óxido de zirconio comercial (Zr), fue sujeto a un tratamiento térmico a 600°C por 5 horas resultando en la muestra Zr_{600}. Ambos materiales, Zr y Zr_{600}, fueron modificados con una cantidad apropiada de una solución 0,5M de H_2SO_4, utilizando la técnica de impregnación húmeda. El exceso de agua fue evaporado en un baño de agua a 60°C asistido por ultrasonido, secado en estufa, y calcinado en aire a 400 (Zr-S-400, Zr_{600}-S-400) y 600 °C (Zr-S-600) por 5 horas.

Caracterización del catalizador

Las propiedades texturales de los sólidos pueden ser caracterizadas mediante la ayuda de las isotermas de adsorción-desorción de N_2. Las medidas fueron realizadas a la temperatura de nitrógeno líquido (-196 °C) en el instrumento Micrometrics ASAP 2020. Antes de la adsorción, los materiales fueron desgasificados mediante calentamiento a 100°C en una presión menor a 4 Pa por 12 h.

La cantidad y fuerza de sitios ácidos fueron estimados por titulación potenciométrica. Las mediciones fueron realizadas suspendiendo 0,05 g de los sólidos en acetonitrilo, manteniendo agitación constante por 3 horas. Luego, la solución es titulada con una solución 0,05M de n-butilamina en aceto nitrilo, a una razón de 0,05 $mL.min^{-1}$, y la variación de potencial es medida empleando un pH-metro digital (Metrolhm 794 Basic Titrino).

El espectro para el FTIR con piridina fue analizado con un equipo Thermo Nicolet iS10. Para crear una superficie limpia para el análisis, los catalizadores fueron calentados a 400°C en condiciones de vacío y mantenido por 1 hora. Luego, el catalizador fue enfriado a temperatura ambiente para recolectar el espectro de fondo de la superficie limpia. Posteriormente, la adsorción fue realizada en una celda a 25°C. El exceso de piridina se desorbió en vacío desde temperatura ambiente hasta 400°C con saltos de 100°C.

Actividad catalítica

La ketalización de glicerol con acetona fue realizada en un reactor de vidrio de 200 ml Büchi equipado con manómetro, agitación magnética, baño termostático, entrada de gases y válvulas de alivio. Antes de la evaluación catalítica, se realizaron experimentos para verificar que la reacción no se lleva a cabo en absencia de catalizador, y la ausencia de limitaciones a las difusiones externas e internas.

En un experimento típico, se carga una relación 1:6 molar de glicerol:acetona y una cantidad adecuada de catalizador en el reactor. Luego el reactor es presurizado a 0,2 MPa con N_2 y calentado hasta la temperatura deseada.

Una vez terminado el experimento, el reactor se enfría a 20°C y el catalizador se separa por centrifugación y filtración. Los reactantes y los productos son analizador por cromatografía gaseosa con un Shimadzu GCMS-QP505A, equipado con una columna capilar PE-Elite-Wax y un detector FID, usando n-propanol como estándar externo.

Estudio termodinámico y cinético

La constante de equilibrio termodinámico, Keq se determine empleando las siguientes ecuaciones.

$$K_{eq} = \frac{a_{Solk} \cdot a_W}{a_{Gly} \cdot a_{Ac}} \quad (1)$$

$$a_i = \gamma_i \cdot x_i \quad (2)$$

Los coeficientes de actividad (γ_i) a diferentes temperaturas y composiciones fueron calculados siguiendo el método UNIFAC de contribución de grupos.

Tabla 1: Pasos involucrados en el modelo cinético.

Paso	Reacción
1	$Ac + * \leftrightarrow Ac^*$
2	$Gli + * \leftrightarrow Gli^*$
3	$Ac^* + Gly^* \leftrightarrow HA^* + *$
4	$HA^* + * \leftrightarrow Int^* + W^*$
5	$Int^* \leftrightarrow Solk^*$
6	$Solk^* \leftrightarrow Solk + *$
7	$W^* \leftrightarrow W + *$

La velocidad de reacción de la ketalización de glicerol puede expresarse empleando un modelo de Langmuir-Hinshelwood-Hougen-Watson (LHHW) [9]. El mecanismo de reacción se encuentra basado en la adsorción de ambos reactivos (glicerol y acetona) en la superficie del catalizador, seguido de tres reacciones consecutivas y la desorción de los productos (agua y solketal). Los pasos involucrados en el modelo se encuentran en la Tabla 1, donde Ac, Gli, W y Solk representa la acetona, glicerol, agua y solketal respectivamente, HA al hemiacetal (3-(2-hidroxipropan-2-yloxy) propano-1,2-diol, Int a un intermediario de reacción, el símbolo * representa un sitio activo del catalizador, y el supraíndice * representa que el componente se encuentra adsorbido en la superficie del catalizador.

A partir de este modelo cinético, y considerando que ninguno de los componentes se adsorbe fuertemente en la superficie del catalizador, la velocidad de reacción queda expresada a partir de la siguiente ecuación

$$r = k\left(a_{Gly}.a_{Ac} - \frac{a_{Solk}.a_W}{K_{eq}}\right) \quad (3)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad catalítica

Dado que la ketalización de glicerol cona cetona requiere la presencia de sitios ácidos fuertes, esta reacción representa una técnica de caracterización adicional para evidenciar la presencia de estos sitios activos. Los materiales Zr y Zr_{600} no fueron activos en esta reacción, mostrando la ausencia de sitios ácidos fuertes en los mismos. Por otro lado, todas las muestras sulfatadas resultaron activas en la reacción. La Tabla 2 presenta las velocidades de reacción inicial y las selectividades para cada catalizador, determinadas en los primeros 10 minutos de reacción. En todos los casos solo se identificaron solketal y el isómero 2,2-dimetil-1,3-dioxan-5-ol como productos de reacción.

Los resultados de velocidad de reacción inicial muestran que el material precalcinado y sulfatado Zr_{600}-S-400 presenta dos tercios de la actividad catalítica del material Zr-S-400. Adicionalmente, la muestra Zr-S-600 resultó ser la menos activo. Los resultados de caracterización de estos materiales presentados en la siguiente sección muestran la relación entre estas actividades catalíticas y las propiedades ácidas y texturales de los catalizadores.

Tabla 2: Velocidad de reacción inicial. Condiciones experimentales: 10 min, 40°C, 0,2 MPa N_2, relación molar glicerol:acetona = 1:6, 0,6% p/p (catalizador:glicerol).

Muestra	Velocidad de reacción inicial ($mol.min^{-1}.g^{-1}$)	$S_{Solketal}$ (%)	$S_{2,2\text{-dimetil-}1,3\text{-dioxan-}5\text{-ol}}$ (%)
Zr-S-400	0,0497	86	14
Zr-S-600	0,0075	88	12
Zr_{600}-S-400	0,0361	81	19

Caracterización superficial

La Tabla 3 resume los valores de área específica, diámetro de poro, volumen poral y propiedades ácidas para todas las muestras preparadas.

Por calcinación de zirconia comercial a 600°C (muestra Zr_{600}) se observa una pérdida en el área superficial y un incremento en el tamaño de poros de 5,1 a 12,3nm. Las muestras sulfatadas, Zr-S-400 y Zr_{600}-S-400 presentan áreas superficiales menores a los óxidos sin sulfatar, lo cual podría indicar la incorporación de especies sulfato. La mayor área superficial evidenciada en el material Zr-S-600 en comparación a la muestra Zr-S-400 puede ser evidencia de una pérdida de grupos sulfatos causados por el incremento en la temperatura de calcinación.

Los resultados de la titulación potenciométrica, resumidos en la Tabla 3, muestra que todas las muestras sulfatadas presentan una mayor acidez que los óxidos Zr y Zr_{600}, y que el incremento en la temperatura de calcinación (de 400 a 600°C) induce una disminución en el número de sitios ácidos de la muestra, relacionado con la pérdida de especies sulfato a 600°C.

Tabla 3: Propiedades texturales y ácidas.

	BET			Titulación potenciométrica	
Muestra	Superficie BET ($m^2.g^{-1}$)	Volumen de poro ($cm^3.g^{-1}$)	Diámetro de poro (nm)	E_0 (mV)	meq n-butilamina.g^{-1}
Zr	105	0,34	5,1	63	0,20
Zr_{600}	49	0,30	12,3	134	0,15
Zr-S-400	58	0,23	5,8	560	0,75
Zr-S-600	86	0,29	5,9	310	0,52
Zr_{600}-S-400	24	0,13	11	510	0,52

Para determinar el tipo de sitio ácido presente en el catalizador, se realizó un análisis IR con piridina adsorbida sobre la muestra Zr-S-400. El espectro mostrado en la Figura 2, produce picos en 1445, 1490, 1540, 1574, 1610 y 1640 cm^{-1}, mostrando la presencia de sitios ácidos Lewis y Brönsted en el material. Por comparación también se analizó el espectro IR del óxido de Zr, observando únicamente la presencia de sitios ácidos de Lewis. Por lo tanto, se puede concluir que el proceso de impregnación de especies sulfato permite generar sitios ácidos de Brönsted sobre el material.

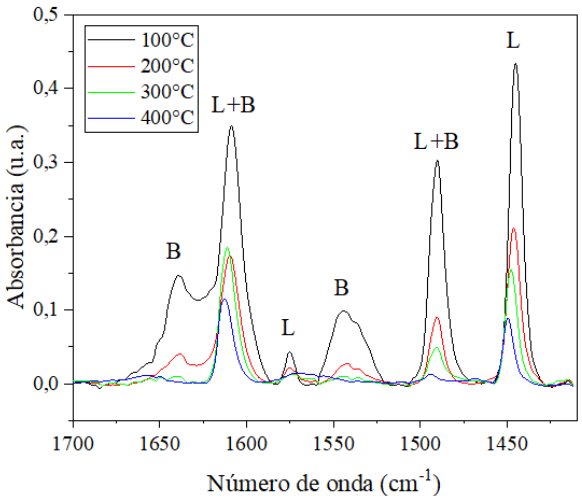


Figura 2: Espectro FTIR de piridina adsorbida sobre Zr-S-400 evacuada a diferentes temperaturas. L = Lewis; B = Brönsted.

Estudio termodinámico y cinético

Para determinar los parámetros termodinámicos, la reacción fue llevada a cabo con el catalizador Zr-S-400 en un tiempo suficiente para asegurar que no ocurran cambios en la presentación. La Figura 3 muestra la linealización de la información experimental. Con estos resultados, la relación entre la constante de equilibrio y la temperatura se puede expresar como $ln(K_{eq}) = 1397\frac{1}{T} - 6304$. Los valores estimados de ΔH^0 y ΔG^0 fueron -11,6 ± 1,1 $kJ.mol^{-1}$, y = 4,0 ± 0,1 $kJ.mol^{-1}$ respectivamente, mostrando la naturaleza exotérmica de la reacción.

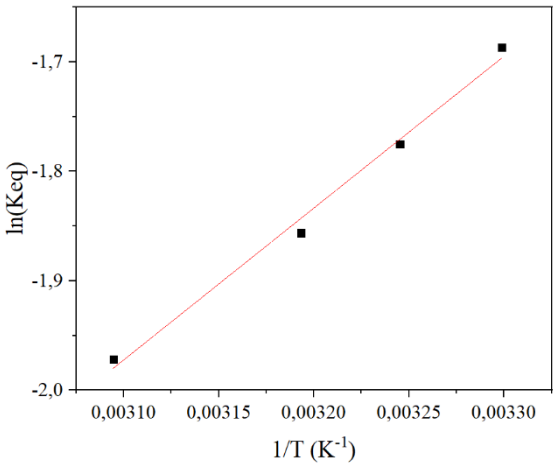


Figura 3: Linealización de ln(Keq) vs 1/T

Previo al estudio cinético se verificó que el criterio de Mears se encuentre por debajo de 10^{-5} y el criterio de Weisz-Prater por debajo de 10^{-8}, para confirmar que las limitaciones de difusión externa e interna fueran despreciables en las condiciones operativas. La Figura 4 muestra los resultados del modelo cinético y los resultados experimentales. Se puede observar que el comportamiento de la reacción a diferentes temperaturas está relacionado con el carácter exotérmico de la reacción.

A partir del ajuste de los datos experimentales con el modelo matemático (ecuación 3), se estimó la energía de activación (Ea) en 88,1 ± 8,9 $kJ.mol^{-1}$, y el factor pre-exponencial (k_0) en 6.55 x 10^{13} $mol.g^{-1}.min^{-1}$. Es importante mencionar que estos valores fueron obtenidos asumiendo que ninguna especie fue adsorbida fuertemente sobre el catalizador. Para confirmar esta asunción, los datos experimentales también fueron ajustados considerando

agua y solketal como las especies más adsorbidas. Dado que los parámetros obtenidos para estos casos fueron inconsistentes, fue posible concluir que la consideración que ninguna especie se adsorbe fuertemente en el catalizador resulta aceptable.

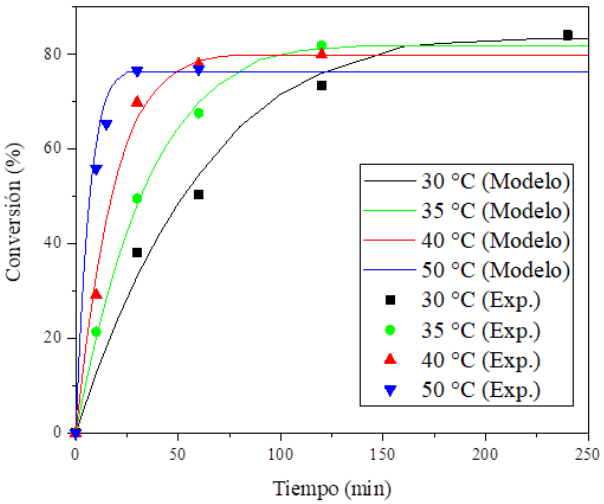


Figura 4: Efecto de la temperatura en la conversión de glicerol. Condiciones experimentales: relación molar glicerol:acetona = 1:6, 0,6% p/p (catalizador:glicerol), catalizador: Zr-S-400.

CONCLUSIONES

El agregado de grupos sulfatos en óxido de zirconio comercial por impregnación húmeda con una solución 0,5M de H_2SO_4 permitió obtener un catalizador activo en la ketalización de glicerol en fase líquida. Los resultados de caracterización mostraron una correlación entre la temperatura de calcinación y los sitios ácidos generados en el material. Entre los materiales estudiados el material Zr-S-400 fue el más activo y presento una mayor densidad y fuerza de sitios ácidos causado por la generación de sitios ácidos de Brönsted como fue determinado por titulación potenciométrica y FTIR de piridina. Este catalizador permitió obtener una conversión de glicerol del 80% en 1 hora de reacción a 40°C con una relación molar de glicerol a acetona de 1:6 y un 0,6% p/p catalizador:glicerol.

A partir del estudio termodinámico y cinético de la reacción empleando el método UNIFAC para determinar los coeficientes de actividad de cada especie, se estimaron la entalpía estándar y energía libre de Gibbs en -11,6 ± 1,1 $kJ.mol^{-1}$ y 4,0 ± 0,1 $kJ.mol^{-1}$ respectivamente, y la energía de activación en 88,1 ± 8,9 $kJ.mol^{-1}$.

Agradecimientos

Agradecemos a la beca doctoral otorgada por CONICET a Julián Vannucci, y a la financiación recibida por CONICET (PIP 065) y UNLP (I-248).

Referencias

[1] J.A. Melero, G. Vicente, G. Morales, M. Paniagua, J. Bustamante, Fuel. 89 (2010) 2011–2018.
[2] M.R. Nanda, Y. Zhang, Z. Yuan, W. Qin, H.S. Ghaziaskar, C. (Charles) Xu, Renew. Sustain. Energy Rev. 56 (2016) 1022–1031.
[3] K. Fraatz, D. Mertin, I. Heep, US8231903B2, 2012.
[4] C. J. A. Mota, C. X. A. da Silva, N. Rosenbach, J. Costa, F. da Silva, Energy & Fuels. 24 (2010) 2733–2736.
[5] M.N. Timofeeva, V.N. Panchenko, V. V Krupskaya, A. Gil, M.A. Vicente, Catal. Commun. 90 (2017) 65–69.
[6] V.S. Marakatti, S. Marappa, E.M. Gaigneaux, New J. Chem. 43 (2019) 7733–7742.
[7] P.S. Reddy, P. Sudarsanam, B. Mallesham, G. Raju, B.M. Reddy, J. Ind. Eng. Chem. 17 (2011) 377–381.
[8] C.A. Emeis, J. Catal. 141 (1993) 347–354.
[9] M.N. Moreira, R. P. V. Faria, A. M. Ribeiro, A. E. Rodrigues, Ind. & Eng. Chem. Res. 58 (2019) 17746–17759.

PREDICCIÓN DEL FACTOR DE EFECTIVIDAD EN MONOLITOS DE MATRIZ METÁLICA CON RECUBRIMIENTO CATALÍTICO NO UNIFORME

Taulamet María J. *, Mariani Néstor J., Martínez Osvaldo M., Barreto Guillermo F.

Departamento de Ingeniería Química,
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata,
La Plata, Argentina
Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. J. J. Ronco"
(CINDECA) CONICET- CIC - UNLP
Calle 47 No. 257, CP B1900AJK, La Plata, Argentina
*e-mail: mariajose.taulamet@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: factor de efectividad, monolitos, recubrimiento no uniforme, matriz metálica, modelos unidimensionales

1. Introducción

Los reactores catalíticos estructurados del tipo monolitos se han utilizado ampliamente en las últimas décadas, principalmente en el tratamiento de corrientes gaseosas con distintos contaminantes. Como ejemplos pueden citarse la eliminación de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en corrientes de aire, de NO_x provenientes de fuentes fijas y móviles, la oxidación preferencial de CO en celdas de combustible y el tratamiento de HC sin quemar, CO y NO_x en los gases de escape de los motores. Por su parte, recientemente se han empleado a escala laboratorio para estudiar reacciones de interés industrial que se llevan a cabo en reactores de lecho fijo como la síntesis avanzada del tipo Fischer Tropsch [1] y la hidrogenación selectiva de 1,3-butadieno en presencia de 1-buteno en fase líquida [2]. La principal ventaja de este tipo de reactores es la combinación de una alta superficie específica y una baja pérdida de carga.
Normalmente, el largo de los monolitos es mucho mayor que el diámetro hidráulico de la sección transversal de los canales, el cual resulta del orden de los milímetros. Pueden encontrase distintas formas para la sección transversal de los canales: circular, hexagonal, rectangular (incluyendo el caso particular de la geometría cuadrada), triangular y sinusoidal [1-3].
La pared de los monolitos está compuesta por un recubrimiento catalítico adherido a una matriz (a veces se la denomina sustrato) que es la que determina la estructura del dispositivo, pero que no es activa catalíticamente. De acuerdo al material de construcción, las matrices pueden ser de tipo cerámico o metálico. Estas últimas se fabrican mayoritariamente a partir de chapas de una aleación de metal apropiada, las cuales se enrollan hasta alcanzar el diámetro necesario, constituyendo un cartucho. Esta alternativa es especialmente atractiva dado que su fabricación resulta relativamente simple y, por otro lado, el cartucho puede ser perfectamente alojado en el interior de recipientes cilíndricos de cualquier diámetro, permitiendo además su desmontaje completo. El espesor del recubrimiento se encuentra normalmente en el rango 5-100 μm [1-3], es decir, alrededor de un orden de magnitud menos que el tamaño de los canales. En general, a causa del propio proceso de recubrimiento el espesor del mismo resulta no uniforme, tendiendo a concentrarse en los vértices de la sección transversal del canal. Esta acumulación es indeseable, pero normalmente inevitable. En este contexto la evaluación rigurosa de la velocidad efectiva de reacción debería llevarse a cabo resolviendo numéricamente los balances microscópicos considerando las dos dimensiones espaciales (2D) de la sección transversal. Aun cuando existen en la actualidad plataformas numéricas apropiadas para resolver este problema, el tiempo de cálculo puede convertirse en un aspecto determinante cuando tal evaluación debe reiterarse una enorme cantidad de veces, como en el análisis, diseño u optimización de estos reactores.

Por lo tanto, es altamente deseable, o a veces imprescindible, disponer de modelos que permitan reducir la dimensión espacial y aproximar el comportamiento catalítico de un monolito real manteniendo una adecuada precisión.
En función de lo mencionado anteriormente, en nuestro grupo de trabajo, se propuso recientemente un nuevo modelo 1D, denominado modelo de dos zonas (1D-2Z) [4]. En este modelo se plantea dividir al recubrimiento en dos regiones, las cuales pueden ser modeladas como dos cuerpos independientes, en los cuales la difusión (y simultánea reacción) tiene lugar en una única dirección (1D). Uno de los cuerpos se considera una placa plana, mientras que al otro cuerpo se le aplica el modelo de difusividad variable (1D-DV), desarrollado previamente por el grupo de trabajo [5-6]. El modelo 1D-2Z se aplicó a monolitos de matriz cerámica con sección transversal cuadrada y triangular y distintos espesores de recubrimiento catalítico no uniforme, para distintas expresiones cinéticas, y se lo comparó frente a las alternativas de bibliografía propuestas por Papadias y col. [7] y Lopes y col. [8]. Se encontró que el mismo permite alcanzar un nivel de precisión apreciablemente superior al que presentan las alternativas de bibliografía (excepto en algunos casos en los cuales el método propuesto por Lopes y col. [8] arroja errores comparables) en la estimación de la velocidad efectiva de reacción, siendo el error máximo del orden del 8.5% para el conjunto de casos analizados [4].
En este trabajo se propone emplear el modelo 1D-2Z para predecir la velocidad de reacción efectiva en monolitos de matriz metálica y sección transversal sinusoidal con distintos grados de no uniformidad en el recubrimiento catalítico, empleando diferentes expresiones cinéticas.

2. Empleo del Modelo Unidimensional 1D-2Z para Predecir las Velocidades Efectivas en el Caso de Monolitos

Como se mencionó anteriormente, en los monolitos, normalmente la longitud axial del canal es mucho mayor que el diámetro hidráulico de la sección transversal del mismo. Debido a esto es posible despreciar la difusión en el sentido axial, y así considerar que el problema a tratar es bidimensional (2D) sobre la sección transversal del recubrimiento. No obstante, en el planteo que se desarrollará a continuación se mantiene el caso general tridimensional (3D), donde S_p es la superficie externa del recubrimiento accesible a los reactivos y V_p es el volumen del mismo ($V_p=S_p\,L$, siendo L la longitud axial del monolito).
El balance de conservación en estado estacionario para el problema de reacción-difusión en un cuerpo 3D, considerando actividad catalítica uniforme es:

$$\nabla^2 Y = \phi^2\, r(Y)\ ,\ \text{en } V_P; \qquad Y = 1 \text{ en } S_p \tag{1}$$

Las coordenadas espaciales han sido adimensionalizadas con la longitud característica $\ell = V_p/S_p$, $Y=C_A/C_{As}$ es la concentración adimensional del reactivo limitante A, $r = r_A/r_{As}$ es la velocidad de consumo adimensional del reactivo limitante A y $D=D_A/D_{As}$ es la difusividad efectiva adimensional del reactivo limitante A, donde el subíndice “s” corresponde al valor uniforme sobre la superficie del recubrimiento expuesta a los reactivos, S_P.
Se definen el módulo de Thiele (ϕ) y el factor de efectividad (η, velocidad de reacción promedio adimensional) como:

$$\phi^2 = \ell^2 r_{As}/[D_{As}C_{As}] \quad (2a); \qquad \eta = \frac{1}{V_P}\int_{V_p} r\, dV_P \tag{2b}$$

Se plantea que el recubrimiento presentará un espesor no uniforme, caracterizado por la acumulación de material activo en las esquinas de la sección transversal, como puede visualizarse en la Fig. 1 para la sección sinusoidal empleada en este trabajo. Tal acumulación es un fenómeno indeseado propio del proceso de recubrimiento y su extensión dependerá de cuan efectivo y preciso sea el mismo. Se emplearon distintas cantidades de recubrimiento no uniforme tomando un espesor mínimo de 40μm (δ_0) y caracterizando geométricamente la acumulación de material catalítico en las esquinas a partir de una

sección circular, cuyo centro se fue desplazando desde el centro geométrico del canal hacia las esquinas y cuyo radio de curvatura R_C se fue variando, de modo de generar las geometrías (I) a (III) de la Fig. 1.

Para aplicar el modelo 1D-2Z a los monolitos de sección transversal sinusoidal se plantea dividir al recubrimiento en dos regiones, las cuales pueden ser modeladas como dos cuerpos independientes, denominados 1 y 2, en los cuales la difusión (y simultánea reacción) tiene lugar en una única dirección (1D) y con actividad unitaria. A uno de los cuerpos, el que presenta un espesor aproximadamente constante, se lo considera una placa plana (identificado como cuerpo 1 en la Fig. 1 para 1/2 de geometría debido a la simetría que presenta la misma), mientras que al segundo cuerpo (cuerpo 2) se le aplica el modelo 1D-DV (a partir de los denominados parámetros de forma γ, β , Γ reales del mismo) [6]. Cabe aclarar que en la conformación del cuerpo 1, una parte es estrictamente una placa plana mientras que la otra corresponde a un sector sinusoidal, el cual fue asimilado a una placa plana debido a que presenta una curvatura que a los efectos del problema analizado puede despreciarse mientras que su espesor es aproximadamente uniforme. Se adelanta que se comprobó que este enfoque no genera un incremento en el nivel de errores máximos que surgen de la aplicación del modelo.

Luego, el factor de efectividad del modelo 1D-2Z se evalúa como:

$$\eta_{1D-2Z} = \left(V_{p1}\eta_1 + V_{p2}\eta_2\right) / \left(V_{p1} + V_{p2}\right) \tag{3}$$

donde η_1 corresponde a una placa plana y η_2 se calcula empleando la expresión dada en [6].

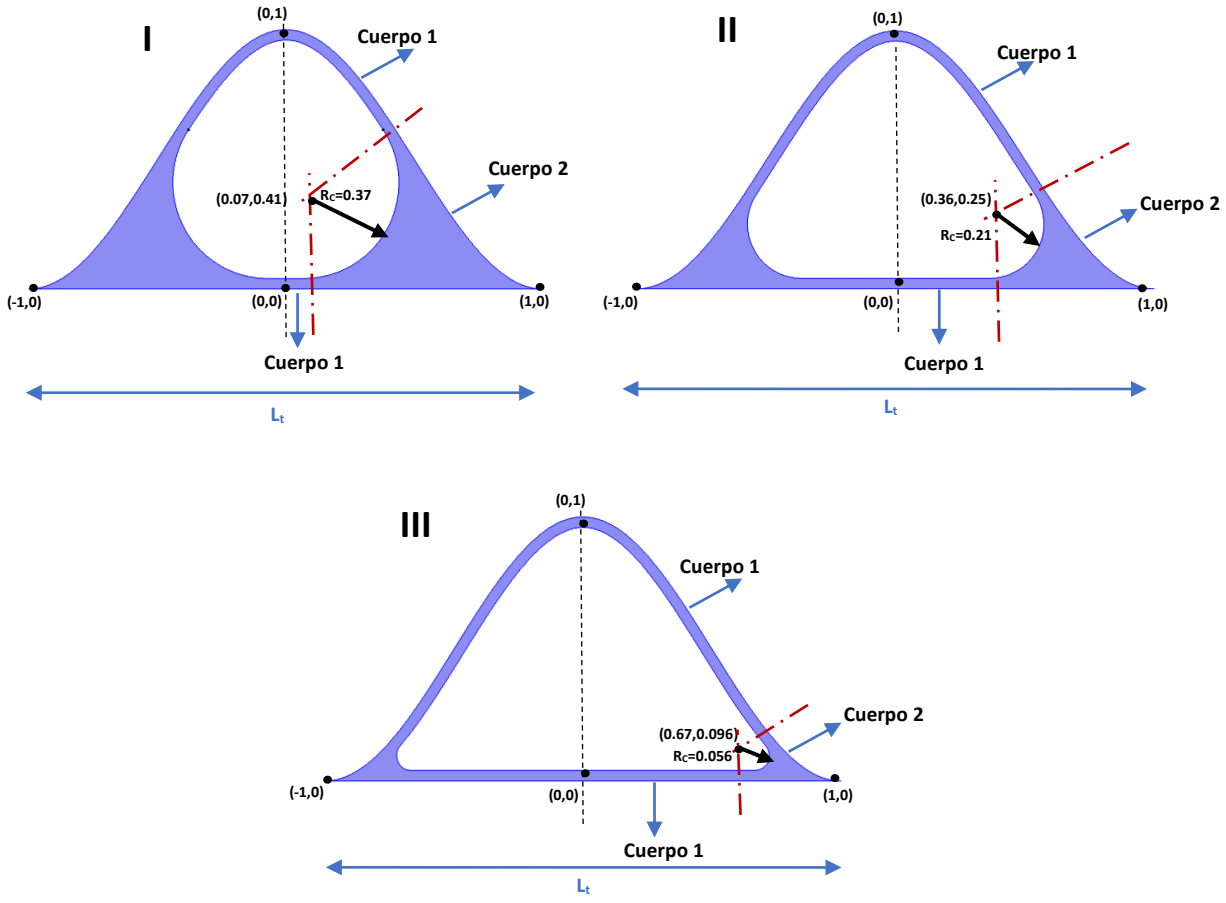


Figura 1: Secciones transversales del recubrimiento analizadas. L_t = 2 mm.

3. Expresiones cinéticas analizadas

Se emplearán tres expresiones cinéticas con un nivel de complejidad creciente partiendo de la clásica referencia constituida por una de primer orden para evaluar la capacidad predictiva del modelo 1D-2Z:

Primer orden irreversible: $r = Y$ (4a)

LHHW1 (Langmuir-Hinshelwood-Hougen-Watson 1): $r = 36\ Y / (1 + 5\ Y)^2$ (4b)

LHHW2 (Langmuir-Hinshelwood-Hougen-Watson 2): $r = 81\ Y / (1 + 8\ Y)^2$ (4c)

Es importante señalar que la expresión (4c) resulta exigente en relación al nivel de precisión alcanzable por el modelo 1D-2Z dado que los parámetros involucrados se encuentran próximos (alrededor del 10% por debajo) a los que conducen a la aparición de los estados estacionarios múltiples.

4. Resultados y discusión

A fin de resolver las Ecs. (1) (en realidad como se mencionó al comienzo del apartado anterior sólo se analiza la sección transversal del recubrimiento) y evaluar el factor de efectividad (Ec. 2b) se utilizó el programa COMSOL Multiphysics®. En cambio, en el caso de los balances del modelo 1D-2Z se utilizó una rutina basada en un procedimiento de *shooting* para aproximar los factores de efectividad de cada uno de los cuerpos y luego se empleó (3) para obtener el factor de efectividad correspondiente al modelo 1D-2Z. En todos los casos se ajustó el tamaño de la malla en la evaluación numérica para garantizar una precisión superior al 0.1%.
El error relativo en el que se incurre por la aplicación del modelo se evaluará de acuerdo a:

$$\varepsilon = 100(\eta_{1D\text{-}2Z} - \eta) / \eta \qquad (5)$$

donde el subíndice 1D-2Z identifica que se está utilizando el modelo de dos cuerpos.
Para valorar la precisión del modelo 1D, para cada expresión cinética y cada sección transversal del recubrimiento (geometría), se analizarán los errores máximos:

$$\varepsilon^{max} = \max_{\phi} |\varepsilon| \qquad (6)$$

En la Tabla 1 se presentan los ε^{max} obtenidos para las distintas geometrías y expresiones cinéticas analizadas, así como el valor de ϕ al cual se produce el mismo. Si se analiza el efecto de la cinética resulta que, para cada geometría, el error máximo aumenta con la complejidad de la expresión cinética, es decir, los menores ε^{max} se obtuvieron para la cinética de primer orden isotérmica y los mayores para la cinética LHHW2. En cuanto a la incidencia de la geometría, en general, se observa que para cada expresión cinética los mayores errores se obtuvieron para la geometría I y decrecen de la I a la III. Esto se debe a que al ir de I a III la cantidad de recubrimiento catalítico no uniforme va disminuyendo y, por lo tanto, la contribución del cuerpo 2 (i.e., la región de espesor no uniforme) al factor de efectividad se hace mayor y, la del cuerpo 1 (i.e., la placa plana) menor. No obstante, para la cinética tipo LHHW2 en la geometría III, se presenta una diferencia. La complejidad de la cinética asociada al mayor peso de la contribución de la región considerada una placa plana, hacen que se ponga de manifiesto de una manera más importante el haber ignorado la curvatura del sector que comprende la sinusoide, lo cual se refleja en el valor de ε^{max}. Las mayores desviaciones se alcanzan para la cinética LHHW2 y las geometrías I/III, siendo el valor del ε^{max} de 5.6%. Adicionalmente, en la Tabla 1 se observa para todos los casos, que los ε^{max} se encuentran a valores intermedios de ϕ.

	Primer orden		LHHW1		LHHW2	
Geometría	ε^{max}	$\phi(\varepsilon^{max})$	ε^{max}	$\phi(\varepsilon^{max})$	ε^{max}	$\phi(\varepsilon^{max})$
Sinusoide I	3.4	4.5	5.0	3.3	5.6	3.3
Sinusoide II	1.7	2.5	2.6	2.1	3.4	0.7
Sinusoide III	0.8	2.1	1.1	1.4	5.6	1.1

Tabla 1. ε^{max} y $\phi(\varepsilon^{max})$ empleando el modelo 1D-2Z para las distintas geometrías y expresiones cinéticas.

En adición al valor de ε^{max} en el que se incurre utilizando el modelo 1D-2Z resulta de interés visualizar la calidad de la estimación cuando se modifica ϕ en un extenso rango. Con esta finalidad en la Figura 2 se presentan los valores de $|\varepsilon|$ frente a ϕ para el modelo 1D-2Z para la geometría Sinusoidal II y la cinética irreversible de primer orden isotérmica. En concordancia con lo mencionado anteriormente al analizar la información mostrada en la Tabla 1, los mayores errores se presentan a valores intermedios de ϕ. Se incluyó también en la Fig. 2 el error obtenido al aproximar la geometría completa (todo el recubrimiento) a una placa plana, observándose que dicha aproximación presenta fuertes desviaciones con respecto al valor numérico 2D incluso para la cinética de primer orden isotérmica, con un máximo del orden de 28%. Para esta misma cinética, la magnitud del error resulta aún de importancia para la Sinusoide III (en la cual el grado de no uniformidad de recubrimiento es el mínimo), con un ε^{max} de 6.5%, aproximadamente un orden de magnitud mayor al que arroja el modelo 1D-2Z (0.8%, ver Tabla 1). Adicionalmente, en la Figura 3 se muestran los valores de η frente a ϕ para el modelo 1D-2Z, la aproximación de placa plana para la geometría completa y los valores numéricos 2D, para la Sinusoide I y la cinética LHHW2. Se observa que el modelo logra reproducir apropiadamente la forma de la curva real de η para el rango completo de ϕ, capturando de una manera ajustada los dos máximos que se generan. En cambio, la aproximación de placa plana no sólo no reproduce correctamente dicho comportamiento (ya que predice un solo máximo) sino que aparecen desviaciones de marcada significación (superiores al 100%).

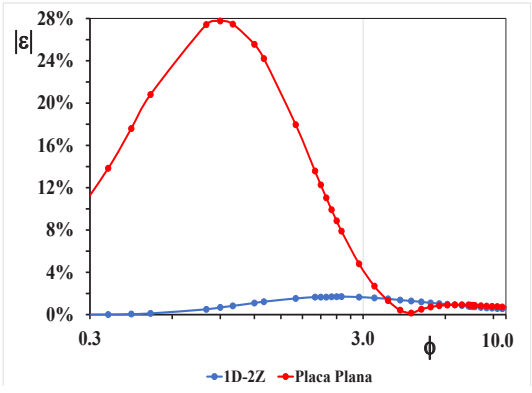


Figura 2: $|\varepsilon|$ vs. ϕ (Geometría: Sinusoide II, Cinética: irreversible de primer orden)

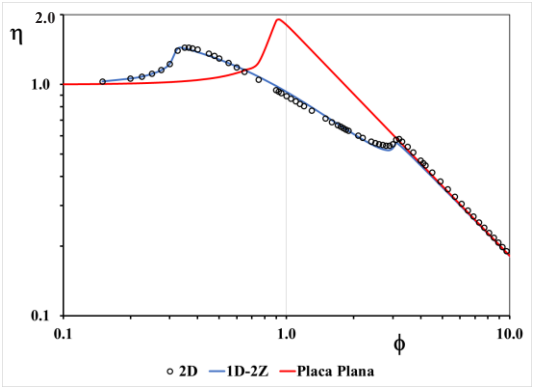


Figura 3: η vs. ϕ (Geometría: Sinusoide I, Cinética: LHHW2)

Por último, se menciona que si se modifica la amplitud de la sinusoide que genera la geometría II, aumentándola y disminuyéndola en un 50 % respecto al valor que corresponde a la Fig. 1, para la cinética LHHW2, no se observan cambios significativos en el valor de ε^{max}.

5. Conclusiones

En este trabajo, se propone aplicar el modelo unidimensional de dos cuerpos (1D-2Z) para aproximar el problema de reacción-difusión en el recubrimiento no uniforme de monolitos metálicos con sección transversal sinusoidal. El modelo plantea dividir la sección transversal del recubrimiento en dos cuerpos independientes, en los cuales la difusión (y simultánea reacción química) tiene lugar en una única dirección. A uno de los cuerpos se lo considera una placa plana, mientras que al otro cuerpo, que presenta una mayor curvatura, se le aplica el modelo de difusividad variable, 1D-DV [6]. Luego, se obtiene el factor de efectividad del recubrimiento completo haciendo un promedio de los factores de efectividad estimados para los dos cuerpos, ponderado por los volúmenes de los mismos.

Si se analiza el efecto de la cinética sobre las predicciones del modelo 1D-2Z resulta que, para cada geometría, el error máximo aumenta con la complejidad de la expresión cinética (el error mínimo se obtuvo para la cinética de primer orden y el máximo para la LHHW2). En cuanto a la incidencia de la geometría, para cada expresión cinética los mayores errores se obtuvieron, en general, para la geometría I y decrecen al ir de la I a la III, debido a que la cantidad de recubrimiento no uniforme va disminuyendo, es así que la contribución del cuerpo 2 (i.e., la región de espesor no uniforme) al factor de efectividad global disminuye.

Se observó, además, que el modelo de 1D-2Z reproduce la forma de la curva de factor de efectividad del monolito real para el rango completo de módulos de Thiele y que puede ser usado con adecuada precisión tanto para la cinética de primer orden isotérmica (ε^{max} del orden del 3.4%) como para las cinéticas tipo LHHW. Para este último tipo aún en el caso de que los parámetros involucrados se encuentran próximos (alrededor del 10% menores) a los que conducen a la aparición de los estados estacionarios múltiples, ε^{max} se mantiene por debajo del 5.6%.

Se espera que el modelo 1D-2Z sea aplicable con similar nivel de precisión aún si la geometría tuviese alguna modificación, así como si se utilizasen otras expresiones cinéticas.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen el aporte financiero de las siguientes instituciones CONICET (PIP 0018) y UNLP (PID I226).

7. Referencias

[1] D. Merino, O. Sanz, M. Montes, Chemical Engineering Journal 327 (2017) 1033–1042
[2] F. J. Méndez, O. Sanz, M. Montes, J. Guerra, C. Olivera-Fuentes, S. Curbelo, J. L. Brito; Cat. Today 289 (2017) 151–161
[3] R.E. Hayes, B. Liu, R. Moxom, M. Votsmeier; Chem. Eng. Sci. 59 (2004) 3169 – 3181
[4] M.J. Taulamet, N.J. Mariani, O.M. Martínez, G.F. Barreto; Cat. Today 372 (2021) 226–237.
[5] N. J.Mariani, M.J.Taulamet, S. D. Keegan, O. M. Martínez, G. F. Barreto; Ind. Eng. Chem. Res. 52 (2013) 15321-15329.
[6] C. Mocciaro, N. J. Mariani, O. M. Martínez, G. F. Barreto; Ind. Eng. Chem. Res. 50 (2011) 2746-2754.
[7] D. Papadias, L. Edsberg, P. Bjornbom; Chem. Eng. Sci. 55 (2000) 1447-1459.
[8] J. P. Lopes, S. S. S. Cardoso, A. E. Rodrigues; Chem. Eng. Sci. 71 (2012) 46–55.

EFECTO DE LA DIFUSION NO ISOTROPICA SOBRE LAS VELOCIDADES DE REACCIÓN EFECTIVAS EN CATALIZADORES GRANULARES

Taulamet María J. *, Mariani N. Javier, Martínez Osvaldo M., Barreto Guillermo F.

Departamento de Ingeniería Química,
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata,
La Plata, Argentina
Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. J. J. Ronco"
(CINDECA) CONICET- CIC - UNLP
Calle 47 No. 257, CP B1900AJK, La Plata, Argentina
*e-mail: mariajose.taulamet@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: anisotropía, velocidad de reacción efectiva, modelo unidimensional, reacción-difusión

1. Introducción

El moldeado de los catalizadores y soportes es una etapa clave en el proceso de fabricación de los mismos. La forma y el tamaño de las pastillas de catalizador deben promover la actividad catalítica, facilitar el transporte de masa a través del lecho y minimizar la pérdida de carga. Por otra parte, las mismas deben presentar resistencia al aplastamiento y a la abrasión. La selección de la forma y el tamaño depende principalmente del tipo de reactor. Por ejemplo, para los reactores de lecho fijo, se utilizan partículas de gran tamaño (de varios milímetros) para evitar pérdidas de carga de consideración. De las distintas técnicas de fabricación de pastillas de catalizadores, la extrusión es la más económica y comúnmente utilizada. Con el empleo de matrices adecuadas se pueden obtener catalizadores de distinta sección transversal (trilobulares, anillos Raschig, cilindros con agujeros internos, etc.). En cambio, los catalizadores peletizados (como las tabletas) se preparan a través de la presión de un polvo seco en una prensa [1]. Tanto en las pastillas peletizadas como en los extrudados puede aparecer anisotropía como consecuencia del proceso de fabricación [2,3]. Normalmente, en las pastillas extrudadas la difusividad efectiva axial es mayor que la radial mientras que lo inverso ocurre en las peletizadas. Si bien no existe un acuerdo unánime en la bibliografía sobre la magnitud de este efecto, Wijngaarden y col. [4] mencionan que la anisotropía intrínseca de los catalizadores sólidos cilíndricos no ha sido estudiada en profundidad, pero que, no obstante, pueden esperarse diferencias en las difusividades efectivas de hasta 10 veces si se producen grietas o fisuras en la dirección longitudinal durante el proceso de extrudado. Satterfield y Saraf [5], Cadle y Saterfield [6,7] estudiaron la anisotropía en catalizadores peletizados, encontrando que las pastillas preparadas en el laboratorio por prensado de una única cara en moldes sin lubricación presentan valores de difusividad efectiva que difieren de 3 a 4 veces dependiendo de la dirección [5], mientras que las pastillas de catalizador fabricadas por prensado desde ambas caras en moldes lubricados prácticamente no presentan efectos de anisotropía [6,7]. Por su parte, Rigby y Gladden [8], Rigby y col [9], Gladden y Mitchel [10] reportaron valores de difusividad radial de prácticamente el doble que la axial para pastillas tableteadas. Novak y col. [11] testearon un material en láminas preparado por ellos y encontraron que la diferencia en las difusividades era de aproximadamente dos veces.

En cuanto a la evaluación del factor de efectividad para el caso de pastillas catalíticas con difusión anisotrópica se ha encontrado escasa información en la bibliografía. Asif y col. [12] obtuvieron dos aproximaciones constituidas por series infinitas para la estimación del factor de efectividad restringidas al caso de una reacción de primer orden isotérmica en anillos Raschig. Los autores proponen utilizar alternativamente una u otra serie de acuerdo al valor de la relación entre las difusividades axial y radial para alcanzar un mejor nivel de precisión.

En este contexto el objetivo de esta contribución es proponer la utilización de un modelo unidimensional (1D-CGΓ) previamente formulado y validado por el grupo de trabajo [13], cuyo único parámetro se obtiene de una manera simple, conocida la geometría y

dimensiones de la pastilla, para calcular el factor de efectividad en el caso de difusión anisotrópica en pastillas cilíndricas con cualquier tipo de sección transversal y un conjunto de expresiones cinéticas, con un muy buen nivel de precisión. Cabe destacar que para el caso particular de una cinética de primer orden el cálculo del factor de efectividad a partir del modelo 1D-CGΓ puede hacerse de manera directa a partir de una expresión analítica [14].

2. Comportamiento catalítico de las pastillas con difusión no isotrópica

El balance de conservación en estado estacionario (en coordenadas cilíndricas y considerando simetría angular) para el problema de reacción-difusión en una pastilla cilíndrica con una sección transversal cualquiera, para una única reacción con actividad uniforme y asumiendo como válida la ley de Fick para la especie clave A en las direcciones radial (r) y axial (z) resulta:

$$D_A\left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial C_A}{\partial r}\right)+D_{A,z}\frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2}=r_A \qquad (1a)$$

$$C_A=C_{AS} \text{ en } S_p \qquad (1b)$$

donde r_A es la velocidad de consumo de A y el subíndice "S" indica valor uniforme sobre la superficie permeable a las especies, S_p.
D_A y $D_{A,z}$ son las difusividades efectivas en las direcciones r y z, para las cuales se asume que son constantes, independientes de la posición y que se cumple que:

$$D_{A,z}=\kappa\, D_A \qquad (2)$$

Se aclara que la composición y la velocidad de consumo de la especie A se mantienen constantes sobre la superficie externa permeable de la pastilla dado que las resistencias difusionales externas a la transferencia de materia y calor se consideran despreciables.
Definiendo las variables adimensionales $Y=C_A/C_{AS}$ (concentración adimensional del reactivo limitante A) y $r = r_A/r_{AS}$ (velocidad de consumo adimensional del reactivo limitante A) las Ecs. (1) resultan

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial Y}{\partial r}+\kappa\frac{\partial^2 Y}{\partial z^2}=\frac{1}{\lambda^2}r(Y) \qquad (3a); \qquad Y=1 \text{ en } S_p \qquad (3b)$$

donde λ es la escala global de reacción, que se define como $\lambda^2=D_A\, C_{AS}/r_{AS}$.
Si en la Ec. (3a) se define $z^*=z/\kappa^{1/2}$ y luego se adimensionalizan las coordenadas espaciales (r y z) empleando $\ell=V_p/S_p$ (volumen respecto al área superficial permeable a las especies) se obtiene:

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial \rho^2}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial Y}{\partial \rho}+\frac{\partial^2 Y}{\partial \varsigma^{*2}}=\phi^2\, r(Y) \qquad \text{con } Y=1, \text{ en } S_p \qquad (4)$$

con $\rho=r/\ell$ y $\varsigma^*=z^*/\ell$, mientras que ϕ es el módulo de Thiele definido como:

$$\phi^2=\ell^2/\lambda^2 \qquad (5a)$$

La Ec. (4) implica que el balance de conservación para una pastilla cilíndrica de sección transversal cualquiera considerando comportamiento anisotrópico para la difusión, resulta equivalente al de una pastilla con la misma sección transversal y una altura modificada en condiciones de difusión isotrópica, siempre que se asuma que las difusividades efectivas para la dirección radial y para la axial son uniformes y guardan una proporcionalidad conocida.
Se define el factor de efectividad (η, velocidad de reacción promedio adimensional) como:

$$\eta = \frac{1}{V_p} \int_{V_p} r \, dV_p \qquad (5b)$$

3. Modelo 1D-CGΓ

Como se mencionó anteriormente, se empleará el modelo unidimensional del cilindro generalizado (1D-CGΓ), desarrollado previamente por el grupo de trabajo, el cual consiste en un sólido que permite el transporte de calor y materia en una única coordenada espacial x', 0<x'<L, y presenta una sección transversal variable según $S(x) = S_p(x'/L)^\sigma = S_p\, x^\sigma$. El modelo posee dos parámetros libres: la longitud de difusión L y el exponente de forma σ. Por otra parte, estableciendo que el volumen y el área expuesta de la pastilla real y del modelo coincidan se tiene que $\ell = L/(\sigma+1)$, satisfaciendo de esta forma el modelo el comportamiento asintótico de η, tanto a muy bajos como a muy altos ϕ. En el modelo 1D-CGΓ, el balance de conservación puede escribirse como:

$$x^{-\sigma}\left[\frac{d}{dx}\left(x^\sigma \frac{dY}{dx}\right)\right] = (1+\sigma)^2\, \phi^2\, r(Y) \qquad (6a)$$

$$Y = 1 \text{ en } x=0 \qquad (6b); \qquad dY/dx = 0 \text{ en } x=1 \qquad (6c)$$

Se aclara que el módulo de Thiele es el mismo para la pastilla real y para el modelo 1D-CGΓ.
Si σ=0, 1, 2 el modelo se reduce a una placa plana, a un cilindro circular infinito y a una esfera, respectivamente.
El parámetro σ se ajusta de manera tal que el modelo reproduzca el comportamiento de la pastilla real a altas velocidades de reacción, haciendo que el segundo término de la serie de expansión de η en función de $1/\phi$ sea idéntico para el modelo que para la pastilla real.

$$\sigma = \frac{\Gamma}{1-\Gamma} \qquad (7)$$

El parámetro Γ de la "*pastilla equivalente isotrópica*" (*i.e.*, una pastilla de la misma sección transversal cuya altura se obtiene como $H' = H/\kappa^{1/2}$, siendo H la altura de la pastilla real) puede obtenerse en forma aproximada a partir de la siguiente expresión [14]:

$$\Gamma = \frac{\Gamma_\infty + \frac{16}{\pi}\ell_\infty / H'}{\left(1 + 2\ell_\infty / H'\right)^2}; \qquad (8a) \qquad \text{con } \ell = \frac{\ell_\infty}{1 + 2\ell_\infty / H'} \qquad (8b)$$

donde Γ_∞ y ℓ_∞ corresponden a los valores para la sección transversal de la pastilla.
La Ec. (8a) es estrictamente válida para una cinética de primer orden, aunque cabe aclarar que no se produce una modificación significativa en la precisión del modelo si se la emplea para otras expresiones cinéticas. Una expresión general para obtener Γ, en particular para cualquier cinética, puede encontrase en [15].

4. Expresiones cinéticas analizadas

Se analizan tres expresiones cinéticas con creciente nivel de complejidad a partir la clásica referencia constituida por una de primer orden:

Primer orden irreversible:	$r = Y$	(9a)
Orden cero:	$r = 1$	(9b)
LHHW (Langmuir-Hinshelwood-Hougen-Watson):	$r = 81\, Y / (1 + 8\, Y)^2$	(9c)

Se aclara que la expresión (9c) resulta exigente en relación al nivel de precisión alcanzable por el modelo 1D-GCΓ en virtud de que los parámetros involucrados en la misma se

encuentran próximos (aproximadamente 10% por debajo) a los que conducen a la aparición de los estados estacionarios múltiples.

5. Resultados y discusión

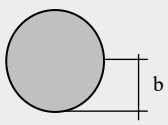
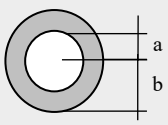
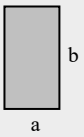
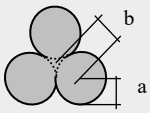
Para resolver el balance en la pastilla real con difusión anisotrópica (Ec. 1a) se empleó el software Comsol Multiphysics, mientras que para la aplicación del modelo 1D-CGΓ es necesario determinar, en primer lugar, el parámetro de forma Γ (a través de la Ec. (8a) considerando H') para luego calcular σ (Ec. 7). Una vez obtenido el parámetro σ, el modelo se aplica sin modificación alguna respecto al caso isotrópico.
El error relativo en el que se incurre por la aplicación del modelo se evaluará de acuerdo a:

$$\varepsilon = 100\ (\eta_{1D\text{-}CG\Gamma} - \eta) / \eta \qquad (10)$$

donde el subíndice 1D-CGΓ identifica el modelo utilizado.
Para valorar la precisión del modelo 1D-CGΓ, para cada expresión cinética y geometría, se compararán los errores máximos definidos del siguiente modo:

$$\varepsilon_{MAX} = \max_{\phi,\ H'} |\ \varepsilon\ | \qquad (11)$$

Se recuerda que H'=H/$\kappa^{1/2}$, siendo H' la altura de la "*pastilla equivalente isotrópica*" y H la altura de la pastilla real.
En la Tabla 1 se presentan los ε_{MAX} obtenidos con el modelo 1D-CGΓ para una cinética de primer orden isotérmica y una importante variedad de geometrías de pastilla, en las cuales dicho máximo se produce a una relación de difusividades distinta de cero, $\kappa \neq 0$ (*i.e.*, valores finitos de h=H'/b en la Tabla 1, en la cual H' se ha adimensionalizado con una magnitud de identificación directa en la geometría de sección transversal de las pastillas). Para este grupo de geometrías, el mayor valor de ε_{MAX} resulta de 1.6%.
Análogamente en la Tabla 2, se reportan los ε_{MAX} para aquellas pastillas en las que el mismo se produce para una relación de difusividades nula, $\kappa=0$ (*i.e.*, $h\to\infty$), que corresponde en la práctica a aquellos casos en los cuales la difusión axial se encuentra fuertemente impedida. Para este grupo de geometrías el mayor valor de ε_{MAX} se encuentra alrededor del 6%. En las Tablas 1 y 2, se informan además, los valores de Γ_∞ que se emplearon en los cálculos.
Al analizar el efecto de la expresión cinética se observó que las expresiones más complejas magnifican los errores en la estimación. En las Figuras 1 se muestran los ε_{MAX} obtenidos frente a y=h/(1+h) empleando las tres expresiones cinéticas explicitadas en el apartado 4, correspondiendo la Figura 1a al cilindro sólido y la Figura 1b al anillo Raschig.

Geometría	Cilindro Sólido	Anillo Raschig	Paralelepípedo	3-lóbulos
Sección transversal				
Dimensiones de la sección transversal	b=1 -	b=1 a=0.5	a=b=1	a=1 b=1.155
ε_{MAX}	1.4%	1.3%	1.6%	1.3%
h=H'/b	0.35	0.2	0.2	0.43
Γ_∞	0.500	0.000	0.637	0.866

Geometría	4-lóbulos	7-lóbulos con agujero central	6 muescas con agujero central

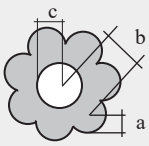
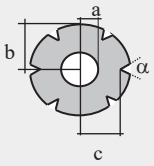
Sección transversal			
Dimensiones de la sección transversal	a=1 b=1.414	a=1 b=2.305 c=1.29 a	a=1 b=2.727 c=2.18 a α=1.047
ε_{MAX}	1.4%	1.1%	1.2%
h=H'/b	0.35	0.22	0.07
Γ_∞	0.707	-0.375	0.222

Tabla 1. Sección transversal, dimensiones y ε_{MAX} para el modelo 1D-CGΓ, para distintas geometrías, cinética de primer orden y $\kappa \neq 0$.

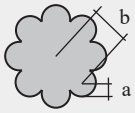
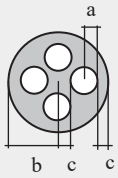
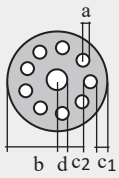
Geometría	8-lóbulos	Estrella	4-agujeros	10-agujeros
Sección transversal				
Dimensiones de la sección transversal	a=1 b=2.613	b=1 a=0.292	b=1 a=2.727 c=0.833 a	b=1 a=0.125 c_1=1.6 a c_2=2.4 a d=2 a
ε_{MAX}	4.8%	5.3%	4.9%	5.9%
Γ_∞	0.547	0.306	-0.241	-0.636

Tabla 2. Sección transversal, dimensiones y ε_{MAX} para el modelo 1D-CGΓ, para distintas geometrías, cinética de primer orden y $\kappa \to 0$ ($h \to \infty$).

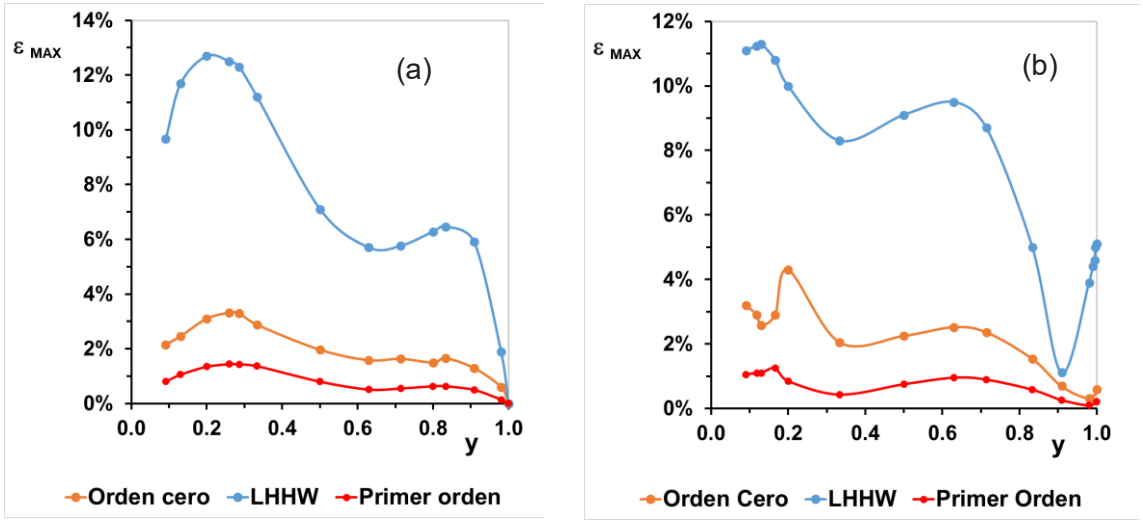


Figura 1: ε_{MAX} vs. y=h/(1+h) para el modelo 1D-CGΓ y distintas expresiones cinéticas (a) cilindro sólido (b) anillo Raschig

Se observa que el ε_{MAX} para el caso del cilindro sólido se presenta para valores intermedios de h en el intervalo 0.25-0.4 (*i.e.*, y=0.2-0.29) dependiendo de la expresión cinética, siendo el mayor valor 12.7% para y=0.2 y la cinética del tipo LHHW (ver Figura 1a). Por su parte, para el anillo Raschig ε_{MAX} se produce para valores de h entre 0.15-0.25 (*i.e.*, y=0.13-0.2), resultando el mayor error de 11.3% para y=0.13 y nuevamente para la cinética tipo LHHW

(ver Figura 1b). Cabe destacar que el error en el que se incurre por la aplicación del modelo, en el caso del cilindro sólido, se anula cuando $\kappa \to 0$ (sólo se produce difusión en la coordenada radial), o lo que es lo mismo, $y \to 1$ (*i.e.*, $h \to \infty$). No obstante, esto no ocurre para el anillo Raschig, que conserva un error residual que depende de la cinética empleada, pero que en todos los casos es considerablemente inferior al error máximo.

6. Conclusiones

Se utilizó el modelo unidimensional 1D-CGΓ con un único parámetro de cálculo directo, previamente formulado y validado por el grupo de trabajo, para predecir el factor de efectividad en el caso de difusión no isotrópica en pastillas cilíndricas con distinta sección transversal y un conjunto de expresiones cinéticas. Para ello se consideró que la difusividad en la dirección z (axial) es proporcional al valor en la dirección r (radial) siendo κ la constante de proporcionalidad y considerando que ambas difusividades son constantes independientes de la posición. Para el caso de una cinética de primer orden, el error máximo en la estimación del factor de efectividad barriendo el rango completo de valores del módulo de Thiele y de la relación entre las difusividades resultó del 1.6% para aquellas geometrías en las cuales el mismo se produce a un valor finito de H' (altura equivalente de la pastilla isotrópica) y por ende de κ, mientras que fue del alrededor de 6% para aquellos casos en los cuales el máximo se encuentra para $\kappa=0$ (difusión preponderante en la dirección radial). Por otra parte, se observó que conforme la expresión cinética es más compleja se incrementan los errores, alcanzándose, no obstante, niveles de precisión que pueden considerarse tolerables. Tomando dos pastillas típicas que se emplean ampliamente a nivel industrial como los extrudados cilíndricos y los anillos Raschig el error máximo resultó de 12.7% y 11.3% para valores de y de 0.2 y 0.13, respectivamente, en ambos casos, para una expresión cinética del tipo LHHW que, como se indicó, conduce a condiciones cercanas a los estados estacionarios múltiples.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen el aporte financiero de las siguientes instituciones CONICET (PIP 0018) y UNLP (PID I226).

8. Referencias

[1] Industrial Catalysis: A Practical Approach. 3rd edition, Jens Hagen (2015) Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Chapter 6. Catalyst Shapes and Production of Heterogeneous Catalysts.
[2] Satterfield, C.N., 1970. Mass Transfer in Heterogeneous Catalysis. MIT Press, Cambridge, MA
[3] H. Davidovd and P. Schneider, Applied Catalysis, 66-1, 5 (1990) 167–179.
[4] R. I. Wijngaarden , K. R. Westerterp, A. Kronberg, Industrial Catalysis: Optimizing Catalysts & Processes, (1998).
[5] C.N. Satterfield and S.K. Saraf, Ind. Eng. Chem. Fundam., 4 (1965) 451-454.
[6] P. J. Cadle and C.N. Satterfield, Ind. Eng. Chem. Fundam., 7 (1968) 192-197.
[7] P. J. Cadle and C.N. Satterfield, Ind. Eng. Chem. Fundam., 7 (1968) 256-260.
[8] S.P. Rigby and L.F. Gladden, Chem. Eng. Sci., 51-10 (1996) 2263-2272.
[9] S.P. Rigby, K-Y Cheah, L.F. Gladden, Applied Cat. A: General 144 (1996) 377-388.
[10] L. F. Gladden, J. Mitchell, New J. Phys. 13 (2011) 035001.
[11] V. Novák, E. Ortel, B. Winter, B. Butz, B. Paul, P. Kocí, M. Marek, E. Spiecker, R. Kraehnert, Chem. Eng. J. 248 (2014) 49–62.
[12] M. Asif, A. A. Ibrahim, Y. A. Mohammed, E. H. Al-Ghurabi, Polish Journal of Chemical Technology, 19-3 (2017) 99-105.
[13] N. J. Mariani, S. D. Keegan, O. M. Martinez and G. F. Barreto, Chem. Eng. Res. & Des. 81(A) (2003) 1–10.
[14] N. J. Mariani, S. D. Keegan, O. M. Martinez, G. F. Barreto, Catalysis Today 133–135 (2008) 770–774.
[15] S. D. Keegan, N.J. Mariani, O.M. Marínez, G.F. Barreto, Ind. Eng. Chem. Res. 45 (2006) 85-97.

ÍNDICE POR AUTOR

Haga click en el número de página para acceder al trabajo que desea.

Nombre	Apellido	Dependencia	Página
Abate	Stella Maris	Interdep. 4	506
Abel	Malena	Mal 2	422
Actis	Marcos	IA 1, IA 5 , IA 7	6, 31, 42
Aldasoro	Roberto	IAg 2	133
Alvarez	Cecilia	IM 1, IM 3, Interdep.1, Interdep.3	443, 455, 488, 500
Alvarez	Raúl	IE 8	280
Andrada Fau	Federico	IH 1, IH 2	379, 385
Andrade Macías Foti	Paula	IH 1, IH 2	379, 385
Angulo	Mauricio	IH 4	396
Ansaloni	Franco	Interdep. 3	500
Antonucci	Luicina	IQ 1	546
Aquín González	Manuel	IM 3	455
Arambarri	Delfina	IE 3, IE 9	250, 286
Arbillaga	Milagro	Interdep. 1	488
Arini	Pedro	CB 11	205
Arnera	Patricia	IE 2	242
Arrojo	Carlos	IE 11	299
Arturi	Tatiana	IH 3, IH 6	391, 408
Azpeitia	Leticia	IMa 1	429
Bacchi	Federico	IA 11	65
Balduzzi	Nehuen	IA 2, IA 3	12, 18
Banera	Mauro	IQ 1	546
Barbieri	María Beatriz	IE 2	242
Barreto	Guillermo	IQ 10, IQ 11	601, 607
Barrientos	Pool	IE 2	242
Battaiotto	Pedro	IE 22	366
Becerra	María Florencia	IM 1	443
Berardozzi	Eliana	IH 3, IH 6	391, 408
Bergamini	Javier	IAg 2	133
Berón	Tomás	IA 13	76

Bertero	María F.	CB 5	170
Bértola	Nora	IQ 2	553
Bianchi	Guillermo	IH 1, IH 2	379, 385
Bianchi	Gustavo	Mal 2	422
Bianchi	Raúl	IE 2	242
Bilmes	Pablo	IMa 2	436
Birche	Belén	Interdep. 1	488
Bolino	María de los Angeles	CB 4	164
Bonvicini Menéndez	Pablo	IMa 2	436
Borzi	Guido	CB 10	199
Bosc	Cristian	IM 5	468
Bosch	Alejandra	Interdep. 5	512
Bottani	Asdrúbal	IA 5	31
Branne	Julia	IH 5	402
Bubenik	Mirian	IM 3	455
Bucci	Paula	IQ 6	577
Bustamante	Sergio	IA 1	6
Cabrera	Mariano	Interdep. 1	488
Calandra	María Valeria	IAg 3	139
Calderón	Lucila	CB 2	152
Calo	Emilio	IE 8	280
Capittini	Guillermo	IA 10	60
Caravelli	Alejandro	IQ 6	577
Carlotto	Adrián	IE 7	274
Carol	Eleonora	CB 10	199
Caruso	Iara	IH 1, IH 2	379, 385
Castañeda	María Teresita	IE 14, IE 15, Interdep. 5	318, 324, 512
Castañeda Trujillo	L. Diana	CB 9	194
Catalano	Leonardo	IE 8	280
Chacón Villalba	M. Elizabeth	CB 9	194
Ciafardini	Juan Pablo	IE 7, IE 21	274, 360
Cibeira	Natalia	IP 1	539
Cipponeri	Marcos	IH 5	402
Clemente	Gisela	CB 11	205
Colman Lerner	Jorge Esteban	IQ 2	553
Conconi	Susana	CB 4	164
Coppa	Matías	IA 8, IA 9	48, 54
Corsiglia	Luis	IE 1	237

Corva	María D.	CB 5	170
Costa	Viviana	CB 6	176
Couselo	Romina	IP 1	539
Cozzarin	Ana Laura	IM 2, IM 3, IM 6, Inter-dep. 7	449, 455, 474, 526
Cruz	Ivan	CB 7	182
Currel	Carlos	IA 1	6
D`Iorio	Juan Ignacio	IA 2	12
Daguerre	Lisandro	IC 2	223
Dargains	Nahuel	IE 1	237
De Araquistain	Pablo	IMa 1	429
De Battista	Hernán	IE 3, IE 9, IE 12, IE 14, IE 16	250, 286, 306, 318, 330
Defranco	Gabriel	IM 4, IM 7	460, 481
Del Río	Laura	CB 3	158
Del Río Pauletti	Catalina	CB 4	164
Delconte	Andrés	Interdep. 1, Interdep. 3	488, 500
Delnero	Juan Sebastián	IA 7, IA 10, IA 12 IA 13	42, 60, 70, 76
Devece	Eugenio	CB 1, CB 4, CB 7	146, 159, 182
Di Bernardi	C. Alejandro	IA 3, IA 8, IA 9, IA 15, IA 16, IA 17, IA 18, IA 19	18, 48, 54, 88, 94, 101, 107, 113
Di Gregorio	Pablo	IA 8	48
Di Sarli	Alejandro	IQ 1	546
Dias	Ricardo	IE 11	299
Díaz	Juan	IE 23	372
Didomenicantonio	Rossana	Interdep. 2	494
Donati	Javier	IA 10, IA 12	60, 70
Ducos	Martín	IQ 7	583
Echapresto Garay	Iban	IA 12	70
Echarri	Juan Manuel	IMa 1, IMa 2	429, 436
Echarri	Tomás	IMa 1	429
Eccli	Iliana	Interdep. 3	500
Ekkert	Tatiana	Interdep. 2	494
Elsner	Cecilia	IQ 1	546
Epifanio	Alejandro	IE 10	292
Espil Nosa	Francisco	IH 1, IH 2	379, 385
Evangelista	Carolina	IE 1, IE 13	237, 312

Faut	Rogelio	IA 8	48
Feloy	Lucas	IM 2, IM 3, IM 6, Inter-dep. 7	449, 455, 474, 526
Fernández	Guillermo	Mal 1	416
Fernández	Mariela	Interdep. 5	512
Fernández	Matías	Interdep. 1	488
Fernández Busse	Marcelo	IE 10	292
Fernández Lobo	Gonzalo	CB 1, CB 4, CB 7	146, 164, 182
Ferrari	Flavio	IE 10	292
Ferreyra	José	IE 10	292
Fertita	Abel	Interdep.8	532
Fígoli	Cecilia	Interdep. 5	512
Filippetti	María Belén	IP 1	539
Flego	Silvana	CB 12	210
Flores	María Luz	IMa 1	429
Fornaro	Pedro	IE 1, IE 22	237, 366
Frígoli	Elisa	IC 2	223
Fuertes	Laura	IM 4, IM 7	460, 481
Fushimi	Emilia	IE 3, IE 9, IE 16	250, 286, 330
Gallego Sagastume	Juana	CB 7	182
Gallo	María Angélica	IQ 3	559
Gamarra	Ariel	IA 1, IA 4	6, 25
Gamba	Martina	CB 4	164
Garat	Fermín	IH 1, IH 2	379, 385
Garaventta	Guillermo	IA 1	6
García	Javier	IE 4, IE 19, IE 23	256, 348, 372
García Clúa	José	IQ 3	559
Garelli	Fabricio	IE 3, IE 6, IE 9, IE 16, IE 17	250, 268, 286, 330, 336
Gavino	Sergio	IM 4, IM 7	460, 481
Giannuzzi	Leda	IQ 4	565
Giménez	María	IQ 4	565
González	Alfredo	IM 1, IM 2, IM 3	443, 449, 455
Graiver	Natalia	IQ 4	565
Granda	Ezequiel	IA 2, IA 3, IA 9	12, 18, 54

Grippo	Franco	CB 7	182
Grosembacher	Luis	IE 3	250
Gross	Patricio	IE 21	360
Güida	Jorge	CB 9	194
Hamann	Daniel	IA 1	6
Hanisch	Elián	IE 4	256
Herlein	Matías	IE 11	299
Hollman	Yanina	Interdep. 3	500
Ibañez	Bernabé	IE 12	306
Inthamoussou	Fernando	IE 6, IE 12, IE 20	268, 306, 354
Jamilis	Martín	IE 14, IE 15	318, 324
Joaquín	Piechocki	IA 14, IA 18, IA 20	82, 107, 120
Juárez	José	IE 7	274
Justo	Claudio	IAg 3, CB 6	139, 176
Kang	Kyung Won	IMa 1	429
Kurten	Tomás	Mal 1	416
Lacoste	Juan	IM 2, IM 3, IM 6	449, 455, 474
Lagoria	Pablo	Interdep. 3	500
Lang	Osvaldo	IA 5	31
Langoni	Laura	Interdep. 2	494
Larsen	Diego	IC 2	223
Lencinas	Julián	IE 10	292
Llorente	Carlos	IMa 1, IMa 2	429, 436
Lobo	Cintia	IQ 2	553
Lombard	Carole	Interdep. 1	488
Lombardozzo	Simón	IE 5	262
López	Ernesto	IE 4, IE 19, IE 23	256, 348, 372
López	José Francisco	IMa 1	429
López	Juan Manuel	IMa 1	429
López García	Ignacio	IE 19	348
López Guerra	Gabriela	Interdep. 5	512
López Lavalle	Ramón	IE 23	372
Lopresti	Laura	IM 4, IM 7	460, 481
Lorenzen	Lautaro	IE 19	348
Lubomirsky	Noemi	Interdep. 2	494
Lucino	Cecilia	IH 4	396

Lyons	Silvina	Interdep. 4	506
Maffia	Ernesto	IM 1, IM 3, IM 6	443, 455, 474
Maggi	Eduardo	IA 4	25
Malanga	Juan	IE 10	292
Malvé	Pablo	IA 15, IA 16	88, 94
Mantelli	Pablo	IA 13	76
Marañón Di Leo	Julio	IA 7, IA 10, IA 12	42, 60, 70
Mariani	Néstor	IM 5, IQ 10, IQ 11	468, 601, 607
Martiarena	Juan Francisco	Interdep. 6	519
Martín	María	CB 2	147
Martínez	Joaquín Angel	IMa 1, IMa 2	429, 436
Martínez	Osvaldo	IQ 10, IQ 11	601, 607
Martínez del Pezzo	Andrés	IA 5, Mal 1	31, 416
Mártire	Daniel	CB 9	194
Masserano	Benjamín	Interdep. 1	488
Mayora	Hernán	IE 8	270
Mendivil	Gabriel	IQ 1	546
Mendoza	Leandro	IE 3, IE 9	250, 286
Mercedes	Richard	IA 17	101
Miño	Juan	IM 1	443
Mizrahi	Martín	CB 1	146
Moneti	Diego	IC 1	217
Morcelle del Valle	Pablo	IE 8	280
Mosquera	Facundo	IE 13	312
Mundo	Luis	IA 1	6
Nadal Mora	Vicente	IA 14, IA 15, IA 16, IA 20	82, 88, 94, 120
Nastta	Hernán	IE 11	299
Nichio	Nora	IQ 5, IQ 9	571, 595
Nuñez	Sebastián	IE 6, IE 14, IE 15	268, 318, 324
Orihuela	Carlos	Mal 1	416
Orjuela Palacios	Juliana	IQ 8	589
Pagliaro	Leonardo	IE 10	292
Palancar	Telmo	Interdep.1	488
Parodi	Isver	Interdep. 3	500
Pary	Gastón	IM 5	468
Pasquevich	Facundo	IA 1, IA 5	6, 31

Patanella	Alejandro	IA 1, IA 7	6, 42
Paus	Pablo	IAg 2	133
Pellegrino	Eric	CB 7, IE 10	182, 292
Pendón	Manuela	IP 1	539
Penillas	Juan	IM 5	468
Pérez	Federico	IQ 5	571
Pèrez Calderón	John	IQ 7	583
Pesarini	Alejandro	IA 19	113
Pesco	Pablo	CB 4	164
Pezzotti	Santiago	IA 14, IA 16, IA 20	82, 94, 120
Pitrelli	Sergio	IA 8, IA 19	48, 113
Pizzichini	Claudia	IAg 1	127
Pompeo	Francisco	IQ 5, IQ 9	571, 595
Príncipi	Luciano	IA 11	65
Puente	José Ignacio	Interdep. 1	488
Puillandre	Nahuel	Mal 1	416
Puleston	Pablo	IE 1, IE 13, IE 22	237, 312, 366
Rabert	Marcelo	IA 18	107
Ricci	Julián	IH 3	391
Ringegni	Pablo	IA 1	6
Riva	Diego	IE 1	237
Rocco	Claudio	IC 3	229
Rodríguez	Santiago	IE 4, IE 23	256, 372
Rohner	Agustín	IAg 2	133
Roig	Alejandro	CB 10	199
Romano	José	IAg 2	133
Roncangliolo	Pedro	IE 5	262
Rosales	Nicolás	IE 3, IE 9, IE 17	250, 286, 336
Ruffini	Franco	IA 2, IA 3	12, 18
Ruiz	Juan M.	Mal 1	416
Ruiz Díaz	Fernándo	IM 2, IM 3, IM 6	449, 455, 474
Sager	Gerardo	IE 7, IE 18	274, 342
Salvioli	Mónica	IH 5, Interdep. 1	402, 488
Sánchez	Hadrian	IA 14	82
Sánchez	María	Interdep. 2	494
Sánchez Peña	Ricardo	IE 3, IE 9	250, 286

Santos	María Victoria	IQ 7	583
Santucci	Lucía	CB 10	199
Sanz	Lucas	IE 19	348
Saralegui	Gustavo	Interdep. 6	519
Scarabino	Ana	IA 6, IA 11	37, 65
Scaramutti	José	IE 11	299
Scian	Alberto	IQ 7	583
Scillone	Germán	IE 23	372
Seijas	Carlos	IM 2	449
Serafini	Cecilia	IE 3, IE 9, IE 17	250, 286, 336
Simonetti	Alejandro	IMa 1	429
Sisti	Jorge Marcelo	IAg 1	127
Speroni	Lucas	IM 4, IM 7	460, 481
Suárez	Felipe	IM 5	468
Suárez	Juana	CB 7	182
Szelagowski	Pablo	IA 8	48
Sznajderman	Lucas	IA 9, IA 17	54, 101
Tanjal	Carolina	CB 10	199
Taulamet	María José	IQ 10, IQ 11	601, 607
Tejada Tejada	Macarena	CB 10	199
Tejerina	Matías	CB 4	164
Tocci	Ana María	Mal 2, O 7	422, 532
Torres	Nuria	Mal 1	416
Torres Zanardi	Juan M.	IA 11	65
Torroba	Patricia	CB 8	188
Tovio	Daniel	IM 2, IM 3, IM 6	449, 455, 474
Trípoli	María M.	CB 5, CB 8, Interdep. 7	170, 188, 526
Uguet	Martín	IC 2	223
Uriona	Hugo	IE 18	342
Urrutipi	Facundo	IMa 1	429
Valenciaga	Fernando	IE 6, IE 20	268, 354
Valverde	Esteban	CB 11	205
Vampa	Victoria	CB 2, CB 11	152, 205
Vannucci	Julián	IQ 9	595
Vega Leañez	Gabriel	IE 4	256
Vernieri	Julieta	IE 21	360

Vilche	Ernesto	CB 1, CB 7	146, 182
Villa	Edgardo Ignacio	IC 3	229
Villar	Juan	IA 6	37
Vita	Carolina	Interdep. 5	512
Vitale	Nicolás	IA 8	48
Voget	Claudio	IE 14	318
Wall	Carlos	IE 2	242
Williams	Eduardo	IC 2, IP 1	223, 539
Yantorno	Osvaldo	Interdep. 5	512
Zappitelli	María Paula	IC 3	229
Zaritzky	Noemi	IH 6, IQ 2, IQ 4, IQ 6, IQ 7, IQ 8	408, 553, 565, 577, 583, 589
Zorba	Bárbara	CB 5	170