

# PROYECTO DE UN AUTOBÚS URBANO HÍBRIDO PARA EL TRANSPORTE DE PASAJEROS

Sacco, Juan – Blanco, Alberto R. – Vucetich, Danilo A. – Pierre Castell Andrea V.  
Matera, Román.

UID-GETVA-Área Departamental Mecánica-F.I – UNLP.

## INTRODUCCIÓN

Se estima que en el año 2020 habrá más de 1.000 millones de vehículos en el mundo. Si todos estos vehículos fuesen equipados con motores de combustión interna convencionales, los niveles de contaminación serán inaceptables para el planeta (en las condiciones actuales). Basado en esto, han surgido en todo el mundo legislaciones que promueven, hasta exigen, el uso de “vehículos de emisión cero” (VECs) o no contaminantes.

Hasta el momento, la única tecnología disponible, madura, para producir VECs es la de vehículos eléctricos (VEs). Debido a esto se estimó que para el año 2010 habría en el mercado mundial 1,5 millones de VEs.

Actualmente, los vehículos eléctricos puros (VEPs) (los que no poseen generador a bordo) tienen dos grandes limitaciones: la baja densidad de energía de las baterías y la imposibilidad de recarga rápida de las mismas, lo que limita la autonomía de los VEPs.

Este problema ha dado lugar a varias propuestas de **Vehículos Eléctricos Híbridos (VEHs)**.

El objetivo de nuestra propuesta fue desarrollar la tecnología y las partes necesarias para, finalmente, integrar un **prototipo experimental de VEH** para transporte urbano de pasajeros.

Este VEH posee un pequeño motor térmico (de potencia correspondiente al consumo promedio en el ciclo urbano internacional) del tipo estacionario, de alto rendimiento y mínimo nivel de contaminación. Este motor térmico acciona un generador cuya potencia nominal es, aproximadamente, la potencia media requerida por el vehículo.

La potencia pico necesaria para la aceleración del vehículo se obtiene de un banco de baterías. Todo esto hace que el VEH (VHE) sea menos contaminante, más económico y más eficiente que un vehículo convencional. Con el prototipo experimental realizado en el proyecto, se hicieron los ensayos necesarios para la puesta a punto, para luego se pasar a la escala industrial de producción de pre-series competitivas.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata a través de la UID-G.E.T.V.A., del Área Departamental Mecánica; debió definir el desarrollo del proyecto propuesto teniendo en cuenta las siguientes premisas:

- a) Estudiar la posibilidad de desarrollar un VEH (VHE) para el transporte público de pasajeros y de cargas (para el uso racional de la energía y la disminución de la contaminación ambiental).
- b) Usar tecnología de punta, competitiva a nivel internacional.
- c) Desarrollar tecnología propia, adecuada a las necesidades y posibilidades locales.
- d) Ser dueña de la mayor parte posible del Know How necesario.
- e) Tener recursos humanos propios de excelencia.

Este proyecto tuvo tres etapas con los siguientes objetivos generales:

---

### **Etapa 1**

Desarrollar tecnologías que permitan implementar diferentes partes incluyendo prototipos experimentales de elementos, relacionados con el sistema de tracción eléctrica de un vehículo híbrido para transporte urbano.

### **Etapa 2**

Integrar todos los componentes del sistema de tracción eléctrica (incluyendo el almacenamiento de energía) en un simulador con capacidad para “emular” la dinámica y los requerimientos de potencia y de energía de un VEH (VHE)

### **Etapa 3**

Integrar todas las partes necesarias para implementar un prototipo experimental de VEH (VHE) para transporte urbano de pasajeros (también puede ser de carga).

A continuación se sintetiza el programa de investigación y desarrollo ya realizado por un equipo interdisciplinario de especialistas.

## **2 Desarrollo**

El autobús proyectado es de 12 m de longitud, low-entry para 70 pasajeros (entre sentados y parados).

Peso máximo sobre eje trasero: 11.500 kg

Peso máximo sobre eje delantero: 6.300 kg

### **2.1-Objetivos del Proyecto**

El objetivo central del proyecto fue el desarrollo de un prototipo vehículo eléctrico híbrido (VEH) para transporte urbano de pasajeros.

#### **2.1.1-Objetivos tecnológicos**

En el siguiente cuadro se indican las principales áreas del conocimiento involucradas en el proyecto y los principales objetivos tecnológicos alcanzados.

<b>Área del conocimiento</b>	<b>Objetivos alcanzados</b>
Transporte urbano de pasajeros	Desarrollo de un nuevo vehículo de transporte más eficiente y con menos emisión de contaminantes que los convencionales.
Vehículos eléctricos	Desarrollo de diferentes partes y tecnologías (motor de tracción, controles electrónicos, almacenadores de energía, etc.) que en el futuro permitirán implementar en nuestras ciudades vehículos eléctricos puros de “ <u>emisión cero</u> ”. Desarrollo de metodologías para el diseño de vehículos eléctricos e híbridos.
Motores eléctricos	Uso de motor para tracción eléctrica de fabricación nacional.
Electrónica de potencia	Desarrollo de controladores electrónicos que permitirán un control eficiente del par del motor eléctrico para tracción eléctrica. Desarrollo de <u>gerenciadores</u> de energía que permitirán hacer un uso eficiente de la energía generada, recuperada en el frenado y almacenada en los bancos de baterías de un vehículo eléctrico.
Electroquímica (Futuro mediato)	Desarrollo de bancos de súpercapacitores de alta tensión (aproximadamente 600 V) adaptados para almacenar energía en vehículos eléctricos(Futuro mediato). Desarrollo y adaptación de baterías convencionales para almacenar energía en vehículos eléctricos.
Control de procesos	Desarrollo de sistemas específicos de supervisión y control para <u>vehículos en general y en especial para vehículos híbridos eléctricos.</u>

Informática y comunicaciones	Desarrollo de redes de datos especialmente adecuadas para funcionar en vehículos híbridos eléctricos.
------------------------------	---

### **2.1.2-Objetivos económicos**

Se pueden distinguir los objetivos económicos indicados a continuación:

- Generar un nuevo mercado a partir del desarrollo de tecnologías de punta.
- Crear nuevas fuentes de trabajo.
- Desarrollar tecnología nacional de última generación.
- Ocupar un nicho de mercado de vehículos híbridos eléctricos en Latinoamérica y, en particular, en nuestro país.
- Crear productos competitivos a nivel internacional.
- Crear tecnologías derivadas como motores de imán permanente, súpercapacitores, convertidores unitarios, baterías de tracción que pueden tener su propio mercado, además de su aplicación a los vehículos eléctricos híbridos.
- Crear nuevas industrias tecnológicas para su producción.

### **2.1.3-Objetivos sociales**

La tecnología desarrollada a través de este proyecto contribuirá para alcanzar los siguientes objetivos:

- Crear nuevas industrias para producir los nuevos productos y aumentar las fuentes de trabajo.
- Mejorar el transporte público a través de nuevos vehículos.
  - Más confortables.
  - Más eficientes (Low floor).
  - De menor consumo de energía (mayor velocidad de ascenso y descenso de pasajeros).
  - Menos contaminantes.
- Minimizar la contaminación ambiental producida por los vehículos de transporte urbano.

### **2.1.4-Relevancia y justificación del proyecto**

Los principales avances del conocimiento científico previstos en este proyecto, están dados por los trabajos de investigación y desarrollo que fueron realizados para desarrollar nuevas tecnologías para vehículos eléctricos en general y especialmente híbridos. Es de resaltar que gran parte de las tecnologías desarrolladas son de avanzada lo cual genera valor científico – tecnológico.

### **2.1.5-Plan detallado de trabajo**

El proyecto estuvo compuesto por los siguientes subproyectos:

<b>Subproyecto A</b>	Dimensionamiento general electromecánico de un autobús híbrido de tipo serie, de dos ejes, de tracción trasera propulsado por un motor asincrónico trifásico, alimentado a frecuencia variable.
<b>Subproyecto B</b>	Dinámica longitudinal de vehículos híbridos.
<b>Subproyecto C</b>	Selección y/o diseño y construcción de motor de tracción eléctrica.
<b>Subproyecto D</b>	Desarrollo de la electrónica de potencia y el control de las máquinas eléctricas..
<b>Subproyecto E</b>	Selección de sistemas de baterías y supercapacitores (opcionales)
<b>Subproyecto F</b>	Desarrollo del Sistema de Supervisión y Control.
<b>Subproyecto G Ensamble VEH.</b>	Montaje en el vehículo prearmado, de los Componentes elaborados en los Subproyectos <b>C, D, E y F</b>
<b>Subproyecto H</b>	Pruebas de Rodaje

### **Subproyecto A: Dimensionamiento general electromecánico.**

Este subproyecto comprende siete capítulos indicados a continuación:

Capítulo A1: Esquema funcional del vehículo híbrido propuesto

Capítulo A2: Especificaciones

Capítulo A3: Potencia del grupo electrógeno

Capítulo A4: Capacidad de las baterías.

Capítulo A5: Potencia del motor de tracción

Capítulo A6: Resultados obtenidos

### **Subproyecto B: Dinámica longitudinal de los vehículos híbridos.**

Este subproyecto comprende el estudio de la dinámica de los vehículos automotores y en particular la dinámica longitudinal, que permite analizar los procesos de frenado y aceleración incluyendo pares motores, potencias y energías involucradas.

Capítulo B1: Interacción vehículo–medio. Requerimientos de potencia.

Capítulo B2: Ciclos de trabajo – Energía de tracción y frenado. Selección del grupo motogenerador. Integración final

### **Subproyecto C: Selección y/o diseño y construcción de motor de tracción eléctrica.**

Este subproyecto tuvo como finalidad seleccionar y/o desarrollar un motor de tracción de alto rendimiento, para luego integrarlo a un VEH.

Capítulo C1: Selección y/o diseño y construcción de un motor eléctrico de tracción

Capítulo C2: Integración del motor de tracción en el prototipo VEH.

### **Subproyecto D: Desarrollo de la electrónica de potencia y el control de las máquinas eléctricas.**

Las actividades a desarrollar están relacionadas con los procesos de conversión y control de la energía que ocurren en un VEH.

Capítulo D1: Control del motor de tracción

Consistió en realizar los trabajos de investigación y desarrollo tendientes a la implementación de diferentes prototipos de controladores electrónicos, para motores de tracción eléctrica.

Primero, estos controladores se hicieron funcionar en un banco estático de ensayos, luego en un “simulador de VEH” y finalmente a bordo del prototipo experimental de VEH.

Capítulo D2: Gerenciador de energía

Consistió en realizar los trabajos de investigación y desarrollo tendientes a la implementación de diferentes prototipos de un “controlador de flujos de energía” para VEH, el cual se llamó “gerenciador de energía”. Primero, estos prototipos se ensayaron en un banco estático de ensayos, luego en un “simulador de VEH” y finalmente a bordo del prototipo experimental de VEH.

Este subsistema tuvo como misión controlar los flujos de energía unidireccionalmente en el caso del generador y bidireccionalmente en el caso de los almacenadores de energía (bancos de baterías) y motores de tracción.

Capítulo D3: Integración de un simulador de VEH

Consistió en realizar los trabajos de investigación y desarrollo tendientes a la implementación de un “banco de ensayo para sistemas de tracción eléctrica donde fue “simulada” en el eje del rotor, la dinámica del vehículo. El par a ser generado en el eje del rotor será el resultado de la “simulación en tiempo real” en la computadora de control, de la dinámica del vehículo en diferentes condiciones de marcha (aceleraciones, deceleraciones,

---

bajadas, subidas, etc.). Este “simulador” permitió ensayar el sistema de tracción completo, incluyendo el generador, motor de tracción, sistema de almacenamiento de energía (baterías), gerenciador de energía y sistema de supervisión y control.

Capítulo D4: Integración de la electrónica de potencia en un prototipo experimental de VEH.

Consistió en realizar los trabajos de adaptación e integración de la electrónica de potencia desarrollada y ensayada en los puntos anteriores (D1, D2 y D3).

### **Subproyecto E: Selección de sistemas de súpercapacitores (futuro) y baterías.**

Capítulo E1: Implementación de los bancos de baterías

En base a los parámetros característicos de las baterías, obtenidos del productor y de ensayos internos, se diseñó el banco. Debieron tenerse en cuenta los parámetros del vehículo para la energía total. Se interactuó entre los grupos para optimizar el sistema de carga y descarga que aumente la vida útil del banco a través de la minimización de sobrecarga o sobredescarga.

Capítulo E4: Integración de los bancos en un simulador de VEH

Los bancos de baterías se integrarán con los sistemas de carga y descarga y de control de carga. En el simulador se evaluarán distintos ciclos de trabajo. Supuestos y sus efectos, las propiedades internas de baterías para estimar los efectos sobre la vida útil.

E4-1: Estudio de los requerimientos.

E4-2: Integración de las diferentes partes del sistema a ser emulado.

E4-3: Ensayos y conclusiones.

Capítulo E5: Integración de los bancos en el prototipo de VEH

Los bancos de baterías ya definidos se integraron con los sistemas de carga y descarga y de control de carga. En el vehículo se evaluaron distintos ciclos de trabajos reales y sus efectos sobre las propiedades internas de las baterías para estimar los efectos sobre la vida útil. En este caso se evalúan efectos térmicos y de vibraciones sobre los dispositivos de almacenamiento.

### **Subproyecto F: Sistema de supervisión y control general.**

El sistema de supervisión y control general se basa en un sistema de inteligencia distribuida. Cada sector a ser controlado o supervisado posee un microcontrolador local adecuadamente programado. A su vez, todos los controladores locales están unidos en red a través de un enlace, conformando cada uno de ellos una **Estación Remota de Control** (ERC).

Una estación remota especial es la que cumple la función de tablero de instrumentos. Ésta conforma la interface con el operador humano. Desde este punto de vista se generaran los comandos para todo el sistema.

Algunos de los puntos de control previstos son:

- Tablero de instrumentos e interface con el operador.
  - Supervisión y control del motor diesel (o combustibles alternativos).
  - Supervisión y control de los inversores del sistema de tracción.
  - Gerenciamiento de la energía.
    - Supervisión y control del generador trifásico.
    - Ídem para la carga y descarga de baterías principales.
    - Ídem de los bancos de súpercapacitores.
  - Supervisión y control de los sistemas auxiliares.
    - Generación de aire comprimido.
    - Cierre y aperturas de puertas.
    - Manejo de iluminación y faros.
    - Varios.
-

#### Capítulo F1: Diseño, construcción y puesta a punto de una ERC

Consiste en el diseño electrónico básico, desarrollo de prototipos, ensayos de confiabilidad y robustez, construcción y evaluación del prototipo final de un modelo de **Estación Remota de Control** apta para ser instalada a bordo del VEH y comandar, con inteligencia local, una zona o sector del mismo.

#### Capítulo F2: Diseño, construcción y puesta a punto del tablero de instrumentos e interface con el operador del VEH

Consistió en llevar a cabo los trabajos de desarrollo, ensayo y pruebas funcionales del tablero de instrumentos y de las interfaces **Máquina-operador** y **operador-máquina**. Se puso énfasis en la sencillez de la comunicación entre el operador humano y el sistema electrónico de control.

#### Capítulo F3: Diseño, construcción y puesta a punto del computador general de comando del VEH - Unidad Central de Control (UCC)

Consistió en llevar a cabo los trabajos de investigación, desarrollo y puesta en marcha del **computador maestro** y de sus estrategias y algoritmos requeridos para su programación de base, haciéndolo apto para el comando de todos los subsistemas de abordo.

#### Capítulo F4: Personalización de la “Estación Remota de Control” (ERC)

Consistió en realizar los trabajos de desarrollo tendientes a programar y adaptar todas las ERC que se utilizaron a bordo de los diferentes roles funcionales.

#### Capítulo F5: Desarrollo de la red de procesadores de abordo.

Consistió en llevar a cabo los trabajos de desarrollo y ensayo de toda la programación de base que permitió unir en red todas las ERC, el tablero de instrumentos, las interfaces Hombre-Máquina y Máquina-Hombre y el computador general de mando, haciendo que su funcionamiento y operación sea armónico, robusto y de alta confiabilidad.

#### Capítulo F6: Integración de todo el sistema de supervisión y control

Consistió en adaptar el hardware y el software de todos los subsistemas para que el conjunto opere como un todo armónico, vinculándose , a su vez, con los demás sistemas.

#### **Subproyecto G: Ensamble Final VHE.**

G-1: Montaje en el vehículo prearmado del motor de Tracción.

G-2: Montaje de componentes.

G-3: Montaje del banco de baterías.

G-4: Interconexión de elemento

#### **Subproyecto H: Prueba Final VHE.**

Concluido el ensamble de la totalidad de componentes y/o partes del VHE, realizadas las pruebas estáticas y puesto en condiciones de rodar; se efectuaron las pruebas de rodaje primario tanto en circuito cerrado como en desplazamientos por rutas, autopistas y zonas urbanas. La prestación ha sido satisfactoria en esta etapa, totalizando aproximadamente 2.500 km circulando en distintos recorridos a saber.

- Autódromo de Estancia Chica
  - Autopista La Plata – Buenos Aires
  - Autopista 25 de Mayo
  - Av. Gral. Paz
  - Ruta Nacional Nº 5
  - Ruta Provincial Nº 47
-

- Ruta Provincial Nº 215
- Ciudad de La Plata
- Capital Federal

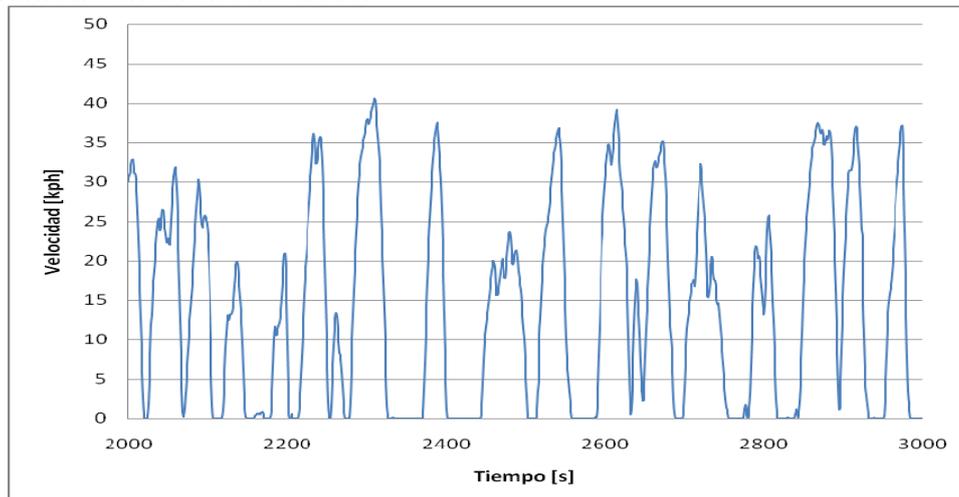
## CONCLUSIONES

Durante las pruebas realizadas se obtuvieron datos de funcionamiento de la unidad sobre la estabilidad en ruta, dinámica longitudinal, dinámica lateral, estabilidad de frenado; distancia de frenado; interacción entre vehículo y superficie de rodadura; esfuerzos de tracción y frenado; adherencia; velocidad máxima; aceleración; rampa máxima; reparto de fuerzas y distribución de pesos; temperaturas en baterías, motor de tracción, grupo generador; comportamiento direccional en régimen estacionario; vibraciones; movimientos de cabeceo y vaivén.

Se han obtenido datos preliminares de utilización de freno eléctrico, mecánico y confort de marcha con resultados satisfactorios, que serán ampliados con el rodaje en tránsito.

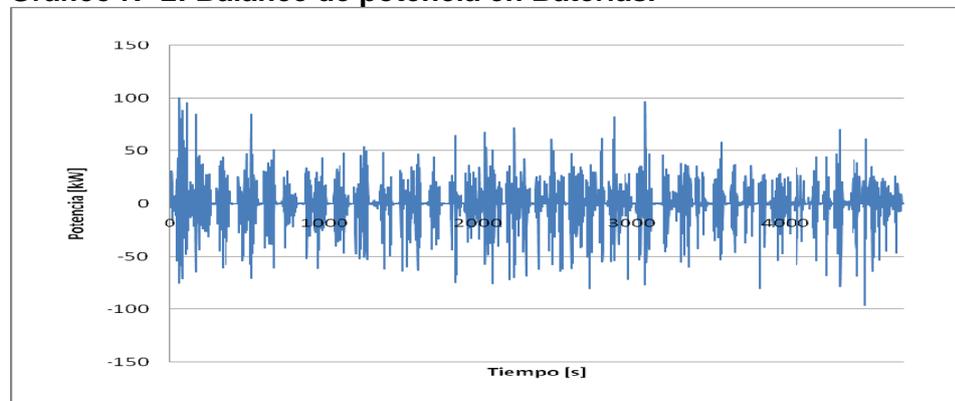
### Gráfico Nº 1: Ciclo de manejo.

Un ciclo de manejo es una representación de la velocidad en función del tiempo que tiene un vehículo en un circuito dado.



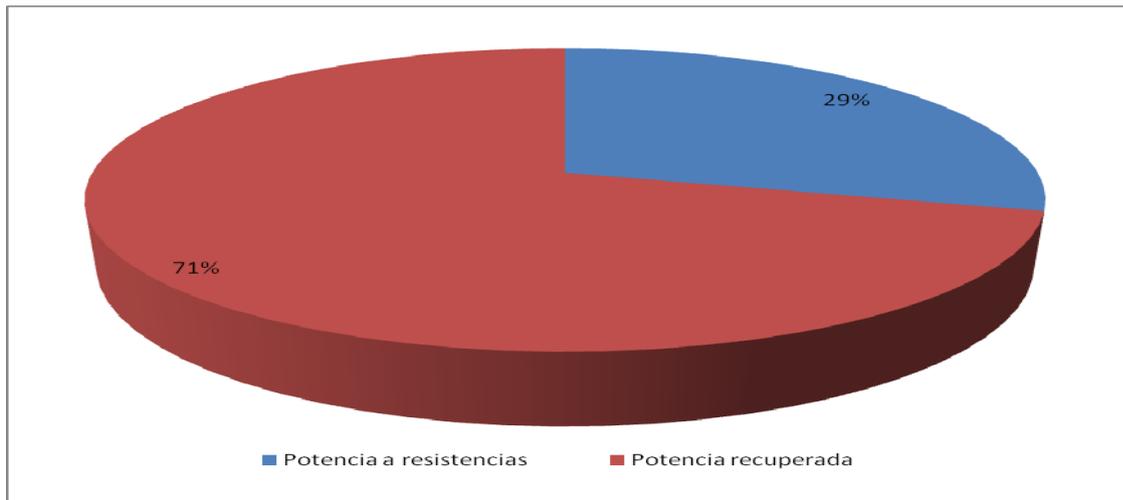
Vuelta testigo de la Línea Nº 62 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. La vuelta fue elegida por métodos estadísticos del universo de muestras tomadas del recorrido. Este ciclo en particular, presenta los valores medios de los parámetros clave del recorrido que mejor reflejan la media de operación de la línea especificada.

### Gráfico Nº 2: Balance de potencia en Baterías.



Balance de potencia que sale e ingresa en las baterías (el ingreso de potencia se debe a la carga por el sistema motor-generador y por el frenado eléctrico) en el ciclo de manejo tomado.

### Gráfico Nº 3: Recuperación de energía.



Según el estudio realizado a la dinámica longitudinal, y los datos obtenidos durante el recorrido del ciclo de manejo, se pudo determinar que se recuperó el 71 % de la energía que se encuentra disponible para tal fin en el recorrido.



## Bibliografía

- Fundamentals of Vehicles Dynamics, Thomas D. Gillespie, -SAE-1992
- Teoría de los Vehículos Automóviles, Francisco Aparicio Izquierdo-2001
- El Medio Ambiente y el Automóvil, José María Lopez Martinez- CIE-DOSSAT-2007
- Electrónica de Potencia, Uhammad Rashid – Pearson – 2004
- Normas : SP-2247: Control and Optimization in Hybrid Powertrains – SAE 2009
- Normas : SP-2175: Design Optimization Methods and Applications – SAE 2008
- Normas : SP-2233: Load Simulation and Analysis in Auromotive Engineering – SAE 2009
- Normas : SP-2218: Simulation of Commercial Vehicles – SAE 2008
- Advanced Vehicle Technology, Heinz Heisler – SAE – 2002
- Normas: IEC 60034-8 – 2007
- IEC 60034-1 – 2004
- IEC 60034-2-1 – 2007