

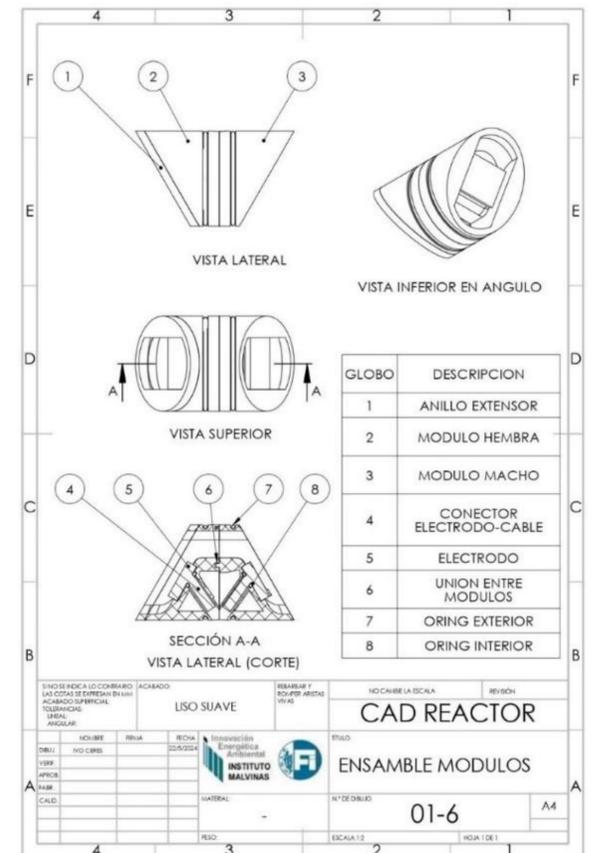
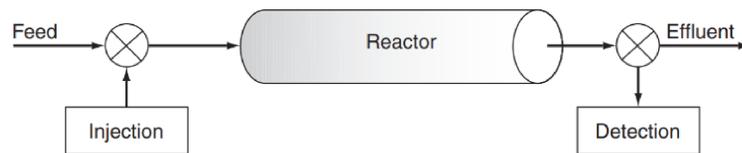
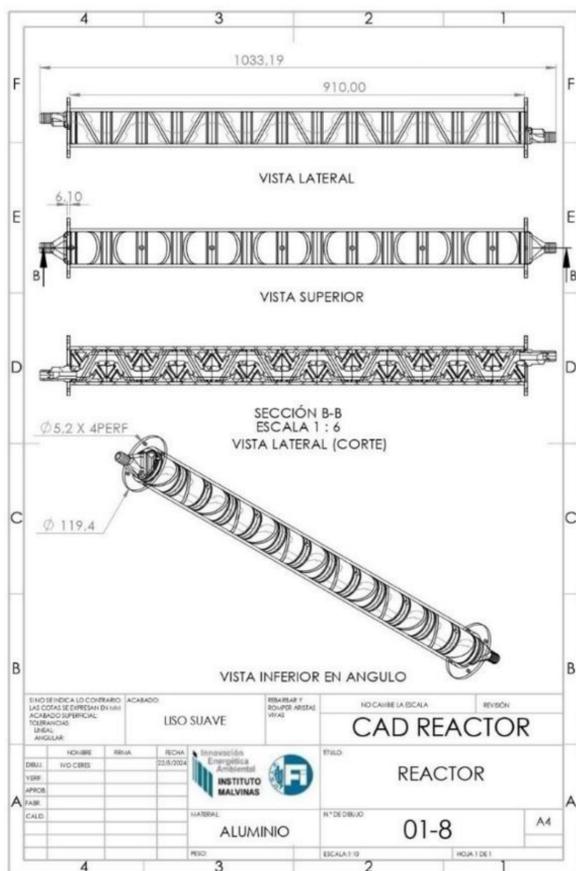


UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

DISEÑO DE REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA RECUPERACION SECUNDARIA



FACULTAD DE INGENIERÍA



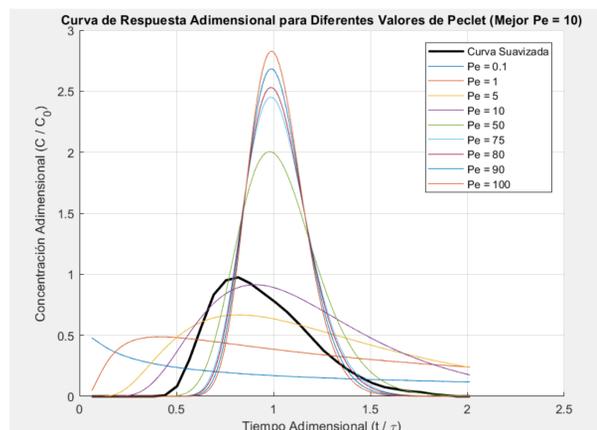
La industria de extracción de petróleo y gas consume grandes cantidades de agua, especialmente en la fractura hidráulica, generando efluentes con alta conductividad y contaminantes como sales, hidrocarburos y metales pesados. Ante esta problemática, la electrocoagulación se presenta como una solución atractiva debido a su eficiencia energética, menor uso de químicos y capacidad para tratar efluentes con alta conductividad. Este proceso utiliza electrodos de aluminio o hierro para generar iones metálicos que actúan como coágulos, eliminando contaminantes y reduciendo la turbidez. La electrocoagulación es un tratamiento que ha demostrado ser útil en un amplio número de efluentes, tanto en colorantes y tinturas de la industria, sílice e iones de aguas de pozo, efluentes de industrias alimenticias, entre otros.

Para la sección del tratamiento electroquímico, podemos resumir en que la electrocoagulación (EC) se basa en la disolución in situ de electrodos de aluminio o hierro en el ánodo, generando iones metálicos coagulantes (Al^{3+} o Fe^{2+}/Fe^{3+}). Estos iones se someten a una rápida hidrólisis, formando hidróxidos como $Al(OH)_3$ y $Fe(OH)_3$, los cuales actúan como "flóculos de barrido" amorfos con gran capacidad de eliminación de contaminantes y reducción de turbidez en aguas residuales. Mientras tanto, en el cátodo, el agua se descompone generando gas hidrógeno (H_2) e iones OH^- , lo que contribuye al proceso.

Como el sistema trabaja en régimen continuo, se requiere un análisis fluidodinámico del equipo que permita determinar, si para una condición dada de trabajo el sistema presenta zonas problemáticas, como pueden ser volúmenes muertos (donde el fluido no se mezcla adecuadamente) o cortocircuitos (donde el fluido pasa demasiado rápido), y predecir el comportamiento del reactor, es decir, utilizar los datos experimentales para simular y anticipar cómo se comportará el reactor bajo diferentes condiciones de operación.

Por último, se optó por un diseño que tenga en cuenta además de los requerimientos necesarios para que la relación fluidodinámica/electroquímica sea óptima, la facilidad constructiva en la escala laboratorio, debido a que se trata de un diseño muy específico y en una escala donde se trabajan tolerancias muy bajas.

Se optó por un sistema de estructuras que se denominan "externa" e "interna", donde la externa se corresponde a una cañería de acrílico, y la estructura interna se corresponde a un relleno modular, el cual fue optimizado al máximo para tener una sección efectiva de circulación de flujo, y una sección de albergue de electrodos de material Aluminio, que estarán por el lado efectivo, en contacto con el fluido, y por la conexión eléctrica aisladas físicamente de la sección de trabajo interna.



Para el diseño de la estructura interna, se buscó optimizar y suavizar todas las secciones que se encuentran en contacto con el fluido de trabajo, debido a que, las transiciones bruscas en la geometría del conducto afectan directamente al flujo al inducir cambios significativos en las velocidades locales y, por ende, generar zonas de alta vorticidad, donde se pueden generar depósitos o acumulaciones indeseadas.

Una vez preparados los electrodos e impresos los módulos en su versión final, se procedió al ensamblado de los mismos dentro de la cañería de acrílico. Se emplearon o rings en el espacio entre estructuras interna y externa, de modo de evitar posibles filtraciones de fluido en dicha zona.

El tubo de acrílico fue perforado para dar lugar a las conexiones eléctricas, y se realizó un ajuste con un sistema de arandelas y parches externos, para evitar filtraciones de fluido en la zona de la conexión eléctrica.

El análisis de la distribución del tiempo de residencia (DTR) es una de las principales herramientas para evaluar el rendimiento hidráulico de las unidades de tratamiento de aguas. Una técnica importante para determinar la DTR es el método de estímulo-respuesta, que consiste en aplicar una perturbación controlada al reactor, ya sea en forma de señal escalón o mediante la inyección de un pulso de un trazador.

El trazador debe ser una sustancia que no reaccione ni se transfiera a otras fases, y debe ser detectable a bajas concentraciones (como colorantes o radioisótopos). La inyección debe tener lugar durante un período muy corto en comparación con los tiempos de residencia del reactor, y no debe alterar el flujo del fluido en el sistema. En este caso se utilizó Naranja de Metilo.

Para graficar los puntos de concentración vs tiempo obtenidas en el ensayo, y como datos de entrada incorporando el caudal de trabajo y el volumen del reactor, se calculan distintos índices hidráulicos los cuales, contrastando con bibliografía, nos permite analizar si el sistema se encuentra en presencia problemáticas en la distribución de flujo.

La curva resultante del ensayo, se la contrasta con las curvas teóricas del modelo de flujo de dispersión axial, a fin de encontrar un parámetro característico para determinar el comportamiento fluidodinámico del reactor, como en este caso puede ser el numero adimensional de Peclet, que es característico del modelo de flujo de dispersión axial.

El diseño y construcción del reactor presentó varios desafíos, en especial por la relación de compromiso que existe entre la facilidad de construcción (elementos que sean fáciles de adquirir y mantener, como así también adecuar el diseño para que exista una conexión eléctrica segura y estanca), optimización fluidodinámica (vinculada el diseño del equipo que maximice el recorrido del flujo, evitando así acumulación de materia o zonas de recirculación), y las especificaciones del tratamiento electroquímico (como lo son la distancia inter-electródica adecuada para que la caída óhmica se mantenga en un rango bajo).

Los resultados obtenidos hasta el momento permitieron determinar una curva de respuesta del diseño propuesto, permitiendo obtener conclusiones sobre las variables del sistema, y como se pueden extrapolar los datos para contrastar con resultados simulados en un software comercial, y así validar el modelo físico con el fluidodinámico.

