

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE**  
**Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales**

**Sustentabilidad y tecnología**

**PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)**  
**Programa de Apoyo a Centros de Investigación Externos.**



**ITESO, Universidad  
Jesuita de Guadalajara**

**PAP 4G03: PAP Programa de Apoyo a Centros de Investigación Externos I.**

**Desarrollo de un medio absorbente basado en óxidos metálicos para la eliminación  
de Cr<sup>6+</sup> y F<sup>-</sup>.**

**Departamento de Ingeniería de Proyectos de la Universidad de Guadalajara,  
Zapopan, Jalisco**

**PRESENTAN**

Programas educativos y Estudiantes

[Licenciatura en Ingeniería Química. Enrique Flores Ortiz]

Profesor PAP: Dr. Marco Leopoldo García Guadarrama.

Tlaquepaque, Jalisco, Mayo, 2020

# ÍNDICE

## Contenido

REPORTE PAP.....	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional.....	2
Resumen.....	2
1. Introducción.....	3
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Justificación.....	3
1.3 Antecedentes.....	4
1.4. Contexto .....	5
2. Desarrollo.....	7
2.1. Sustento teórico y metodológico .....	7
2.2. Planeación y seguimiento del proyecto .....	8
3. Resultados del trabajo profesional .....	17
4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto .....	18
5. Conclusiones.....	20
6. Bibliografía .....	21
Anexos (en caso de ser necesarios).....	23

## REPORTE PAP

### Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

[Este texto deberá aparecer en todos los reportes]

*Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son una modalidad educativa del ITESO en la que el estudiante aplica sus saberes y competencias socio-profesionales para el desarrollo de un proyecto que plantea soluciones a problemas de entornos reales. Su espíritu está dirigido para que el estudiante ejerza su profesión mediante una perspectiva ética y socialmente responsable.*

*A través de las actividades realizadas en el PAP, se acreditan el servicio social y la opción terminal. Así, en este reporte se documentan las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo del proyecto, sus incidencias en el entorno, y las reflexiones y aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.*

### Resumen

El proyecto consistió en desarrollar un medio filtrante con base en un soporte poroso y un agente activo (agente absorbente) que sea capaz de retirar  $F^-$  y  $Cr^{6+}$  de agua para consumo humano, tomando en cuenta cómo la temperatura de reacción, el tiempo de reacción, la agitación, la cantidad de agente activo, el tipo de base porosa, la fuente de agente activo y su pureza afectan a la capacidad del material para retirar los contaminantes.

Para la generación de los medios filtrantes para retirar cromo hexavalente ( $Cr^{6+}$ ), se emplea diferentes fuentes de agente activo, el cual se incorpora en el medio poroso, se deja escurrir, se mide cuánto se incorporó al medio y se introduce en el reactor, en el cual se hace fluir aire a altas temperatura en agitación intermitente. Una vez terminado el proceso de producción se prueba preparando una columna empacada con 50 ml del medio filtrante, a través de la cual se hace pasar a flujo constante una solución de  $Cr^{6+}$  a 100 PPM, tomando muestras de 50 ml cada vez, hasta que el flujo de salida sea del color amarillo característico del  $Cr^{6+}$ .

Como resultado, se encontró un método y agente activo que permite generar un medio filtrante capaz de filtrar altas concentraciones de  $Cr^{6+}$  y se investigó sobre tecnologías y materiales de uso común e innovadores para la filtración de  $F^-$  (fluoruro).

## 1. Introducción

### 1.1. Objetivos

Desarrollar un medio filtrante con base en un soporte poroso y un agente activo (agente absorbente) que sea capaz de retirar  $F^-$  y  $Cr^{6+}$  en agua para consumo humano. Debido a la naturaleza del proyecto, donde se pretende dar una aplicación industrial y cuyos derechos pertenecen a la UDG, los detalles del medio poroso y el agente activo (agente absorbente) no pueden ser detallados ni especificados.

Evaluar cómo la temperatura de reacción, el tiempo de reacción, la agitación, la cantidad de agente activo, el tipo de base porosa, la fuente de agente activo y su pureza afectan a la capacidad del material para retirar los contaminantes en relación con el peso de este mismo y la cantidad de agente activo presente.

La participación en esta categoría de PAP busca fortalecer el vínculo con el centro de investigación para siempre tenerlo como opción, así como para incentivar la cooperación entre el centro y el ITESO y así dar la oportunidad a los alumnos de desarrollarse en un ambiente de investigación y representar al ITESO y a su carrera en esta institución.

### 1.2. Justificación

En México la exposición a los Fluoruros en el agua potable es extensa en muchas poblaciones, teniéndose como efecto de las altas concentraciones problemas como Fluorosis Dental y Ósea, además de otros efectos como el aumento en la incidencia de fracturas en huesos para gente que ha estado expuesta a lo largo de su vida. Por lo anterior, este desarrollo busca dar una solución a baja escala en forma de un filtro en el último punto de uso del agua potable (para beber y cocinar en el hogar) evitando así la exposición a esta agente contaminante.

Pese que el  $Cr^{6+}$  (cromo hexavalente), (el cual es producido por la industria), no es un problema tan generalizado, sí representa problemas serios a la salud por lo que es importante que no llegue a los cuerpos de agua en donde podría filtrarse hacia las fuentes de agua potable, por lo que éste medio filtrante sí tiene como enfoque el de ser aplicado a gran escala por la industria para la remoción del  $Cr^{6+}$ .

Para el caso del cromo, se podría optar por reducirlo, pero nada asegura que no se oxide de nuevo, además que incluso para el caso de cromo<sup>3+</sup> (cromo trivalente) no es deseable su consumo o presencia en grandes cantidades en los cuerpos de agua y agua potable, por lo que removerlo de esta fase es ideal para evitar estos problemas.

Los contaminantes que se busca retirar fueron elegidos para la investigación porque se demostró en pruebas iniciales que el medio filtrante es capaz de absorberlos.

### 1.3 Antecedentes.

En México el cumplimiento de las normas de salubridad respecto a presencia de sustancias como el cromo y los fluoruros es en muchos casos deficiente y en otras ocasiones la información sobre el verdadero estado de los cuerpos de agua se ha mantenido oculta del público, como fue en el caso del Rio Lerma Santiago, el cual es el más contaminado de la República y cuyos estudios sobre los contaminantes que afectan a la población en sus inmediaciones se ocultaron por más de 10 años (1), en información recabada se registraron 506 muertes y 1593 personas enfermas de cáncer e insuficiencia renal entre 2008 y 2014 (2) .

Otro caso es en los altos de Jalisco y el valle de México donde se ha comprobado los efectos de las altas concentraciones de F<sup>-</sup> sobre la salud de la población expuesta.

En el laboratorio se tiene experiencia en semiconductores y se han realizado varios trabajos tendientes a la eliminación de contaminantes en agua, en su mayoría relacionados con Foto Catálisis. Mas cercano al proyecto actual, está el desarrollo de un medio filtrante de Arsénico en agua, pero este proyecto es está apenas comenzado y ajeno al anteriormente mencionado.

La estructura Jerárquica de la organización es como sigue:

1. UDG (Rector General)
2. Centros Universitarios (Rectores de Centros)
3. Departamentos (Jefes de Departamento)
4. Laboratorios (Jefe de Laboratorio)
5. Grupo de trabajo

#### 1.4. Contexto

La NOM-127, la cual establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados, estipula que la concentración máxima de F<sup>-</sup> en agua potable es de 1.5 PPM (mg/L) (3) . En comparación, la norma vigente en Estados Unidos tiene estipulado una concentración de fluoruros de 2PPM (partes por millón recomendado) y una concentración máxima de 4PPM (Considerando que solo ocasiona Fluorosis Dental y que esto no es algo que concierne a la salud sino a la imagen) (3).

La EPA (Agencia de Protección Ambiental) reconoce que los adultos expuestos a altos consumos de fluoruros son más propensos a sufrir fracturas en los huesos además de otros efectos que causan dolor. Por otro lado, el consumo moderado ayuda a prevenir el decaimiento de los dientes y prevención de las caries, pero de igual manera como se comentará en los siguientes estudios, la EPA falla en reconocer la relación entre la Fluorosis Dental y la probabilidad de sufrir fracturas, así como las concentraciones donde problemas óseos empiezan a desarrollarse (4).

En un estudio realizado en el Valle de Guadiana, en México, se encontró que en esta zona 84% de las fuentes de agua de la población se encontraban por arriba del límite establecido, el aumento del deterioro dental se encuentra directamente relacionado a las concentraciones altas de F<sup>-</sup>. En el estudio también se encontró una relación entre el índice de Fluorosis Dental y el porcentaje de fracturas en esta población como se ve en la Figura 0, aunque la relación entre la concentración de F<sup>-</sup> y el porcentaje de fractura de huesos tuvo una tendencia anómala (5).

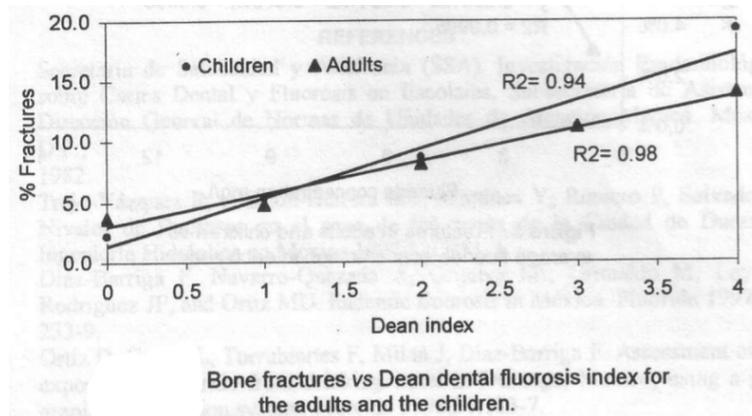


Figura 1 Fracturas de hueso contra Índice de fluorosis de adultos y niños, está grafica ilustra la correlación de la fluorosis con problemas óseos (5).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la ingestión de Fluoruros en el rango de (.7 a 1.5 PPM) es recomendable para prevenir decaimiento en los dientes, sin embargo, consumos de F- por encima de 1.5PPM en periodos largos de tiempo tienen entre sus efectos fluorosis, osteoporosis, artritis, envejecimiento prematuro y retardo mental (6).

En otro estudio realizado en las Altos de Jalisco publicado en el JOURNAL of TOXICOLOGY and ENVIROMENTAL HEALTH, se encontraron que 42% de las fuentes de agua de las municipalidades que comprenden esta región se encontraban sobre la norma de 1.5 PPM, siendo que tres ciudades importantes tienen concentraciones altas: Lagos de Moreno (1.66-5.88 PPM F-), Teocaltiche(3.82-18.58 PPMF-) y Encarnación de Díaz (2.5-4.4 PPM F-). Considerando que se tiene una población total conjunta es de 122,000 habitantes, se puede apreciar la generalidad de la exposición de la población a este contaminante que se presenta de manera natural. Además de esto algunas embotelladoras de agua superan hasta por 7 veces la norma oficial (6).

Cromo y cromo <sup>6+</sup>.

La NOM-127 define que la cantidad máxima de cromo en agua para consumo humano es de 0.05 PPM de Cr en general. En específico el Cr<sup>6+</sup> es de origen industrial y es catalogado por la EPA como carcinogénico por la ruta de inhalación, mientras que esta organización no lo describe como carcinogénico por la ruta oral, debido a lo que esta organización describe como “falta de evidencia para afirmarlo”. En México la NOM-052 estipula que la concentración máxima que se permite desechar de cromo es de 5PPM y que no se considerará como residuos peligrosos aquellos de cromo

que sean en su totalidad trivalentes y se manejen durante todo su ciclo de vida en condiciones no oxidantes (7) (8).

## 2. Desarrollo

### 2.1. Sustento teórico y metodológico

En este proyecto se eligió desarrollar filtros para tratar  $\text{Cr}^{6+}$  (cromo hexavalente o CrVI), mediante la solidificación de una sustancia activa sobre un medio porosos, la cual interactúa con el contaminante para retirarlo de la solución. Posteriormente se decidió probar la viabilidad del uso de estos filtros para retirar Fluoruros (F<sup>-</sup>). Este proyecto se basa en investigación previa en el desarrollo de filtros para remover arsénico, durante el cual se hicieron pruebas de la capacidad de estos para filtrar  $\text{Cr}^{6+}$ , en las que se encontró uno que, aunque tenía un rendimiento muy bajo, si logró filtrar el contaminante. El objetivo es refinar y encontrar alternativas para llegar a un filtro cuyo rendimiento pueda competir con opciones comerciales.

Es importante no solo la interacción, sino que el complejo Cromo-Agente activo no se encuentre en la solución de salida del filtro, esto con el objetivo de que el contaminante pase de una fase acuosa a una sólida, para esto se criba el medio poroso (separar polvo y partículas pequeñas de las partículas grandes con una malla), evitando así que el flujo a través del filtro arrastre el medio filtrante.

Para producir el medio filtrante se utiliza un reactor en el cual se le inyecta aire a altas temperaturas que permite el secado y posibles reacciones de oxidación.

A diferencia de filtros donde se usan membranas para evitar el paso de ciertos contaminantes o partículas, los filtros desarrollados en este proyecto son de tipo empacado en el que, en vez de forzar el paso a través de este, la simple interacción del flujo con la superficie del empaque en conjunto con la difusión del contaminante es suficiente para filtrarlo.

## 2.2. Planeación y seguimiento del proyecto

- Descripción del proyecto

La importancia de la superficie.

La interacción entre dos sustancias o compuestos es en muchos casos dependiente del área de contacto (para los casos de diferentes fases). Una subrama de la Físico Química es la Química de Superficies, en la cual se estudia entre otras cosas la adsorción (es como la absorción, pero sobre una superficie en vez de dentro de un objeto) (9) , la cual se presenta en el medio filtrante.

### Superficie y poros

La superficie es donde un sólido interacciona con las otras fases. A medida que el tamaño de partícula disminuye, el área superficial por unidad de masas aumenta. Polvos muy gruesos pueden tener áreas superficiales de unos pocos centímetros cuadrados/Masa (Superficie específica). Mientras que materiales porosos pueden tener áreas de muchos metros cuadrados (10). La superficie específica rige con que efectividad un absorbente remueve contaminantes (11) y en el caso de esta investigación cuánto de la sustancia activa se depositará en cierta masa de empaque.

### Medio empacado.

Similar a un reactor empacado en cuanto a construcción, el filtro es en realidad un reactor químico el cual tienen como objetivo llevar a cabo la reacción entre el agente activo en el empaque y el contaminante como se aprecia en la Figura 2, en busca de buscando tener como resultado un flujo de salida con ausencia de estos dos, atrapando el contaminante en una fase sólida para su posterior almacenamiento o tratamiento.

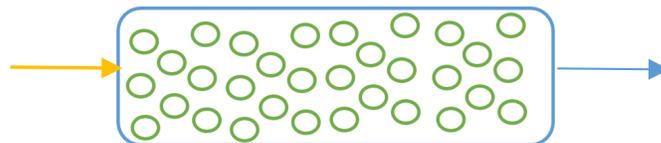


Figura 1 Filtro empacado.

Difusión.

La difusión es el resultado del movimiento aleatorio de las moléculas en un fluido, el cual ocasiona el flujo de una sustancia de una región de alta concentración a una de baja en la búsqueda natural de la homogeneidad de la concentración en un volumen (12) .

Bomba peristáltica.

En las bombas peristáltica se encuentran rodillos los cuales aplastan un tubo al mismo tiempo que estos giran de manera progresiva a una velocidad controlable; la alternancia entre la compresión y la liberación del tubo genera un flujo continuo de fluido en aspiración (después del rodillo) y un flujo en envío (antes del rodillo) (13) ,como se muestra en la Figura 2.

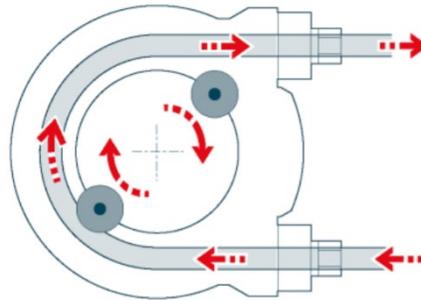


Figura 2 (13) Bomba peristáltica.

Espectrofotómetro.

Un espectrofotómetro es un equipo de análisis químico por absorción o emisión de ondas electromagnéticas (luz) de una sustancia en cierta longitud de onda característica como se aprecia en la Figura 3.

El equipo en sí cuenta con una fuente de luz incandescente la cuál pasa a través de una celda que contiene lo que se estudia, previamente a que la luz interactúe con el medio el haz de luz es refractado por un monocromador (prisma) y pasa por una rejilla, en algunos equipos se puede cambiar la posición de la rejilla o el ángulo del prisma de refracción para seleccionar una longitud de onda en específico, este haz de luz monocromado, de longitud de onda conocida, incide en un sensor fotoeléctrico cuya señal es tratada por un amplificador de señal, la cual se alimenta a un

medidor de corriente. Para calibrar el equipo se utiliza una celda de soluto como blanco que se ajusta al 100% de transmitancia y una celda que impida el paso de luz para ajustar el 0 a un 0 real, así cuando se introduce la muestra se obtiene una medida de intensidad la cual se puede comparar con datos conocidos de concentración y su referente Transmitancia (curva de calibración) para saber la concentración desconocida de esta solución.

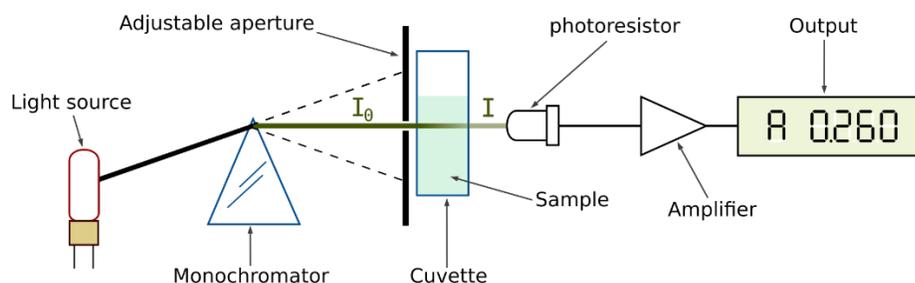


Figura 3 Espectrofotómetro diagrama (14).

La metodología para generar los filtros consiste en primero elegir un medio poroso (para tener un área superficial grande en poco material) el cual se criba y lava para evitar polvo, luego se procede a incorporar con la solución de la sustancia activa y dejarlo escurrir, se mide cuánto volumen se incorporó al medio poroso y cuanto escurrió, a continuación, se procede a lo más crucial.

El reactor es un recipiente de acero que cuenta con un termopar (medidor de temperatura electrónico) al cual se le introduce un flujo de aire a alta temperatura, el cual seca la solución y mantienen condiciones de reducción del agente activo, las variables en esta parte del proceso son la agitación intermitente, la temperatura del aire y el tiempo de reacción.

Una vez que se enfría el medio filtrante, se introduce en la columna evitando que queden burbujas atrapadas y se utiliza una bomba peristáltica para hacer pasar una solución de  $\text{Cr}^{6+}$  con una concentración de 100mg/L (100PPM) como se aprecia en la Figura 4, el rendimiento se prueba tomando muestras de 50 ml cada 50 ml, en las cuales se observa la ausencia del color característico del  $\text{Cr}^{6+}$  (amarillo), una vez que se tiene una muestra que no sea clara, se detiene el experimento y se registra cuánto volumen se logró filtrar con excepción de rendimientos menores a 150 ml (no satisfactorio).

**Tabla 1 Plan de trabajo.**

Actividades	Recursos y notas	Duración	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Introducción	Vidriería de laboratorio, Zeolita, Crivador	1	■															
Producción y prueba de Filtro 1	Zeolita Crivada(sin polvo),Fuente de aluminio preexistente, Reactor #1	0.5		■														
Producción y prueba de Filtro 2	Zeolita Crivada(sin polvo),Fuente de aluminio preexistente, Reactor #1	0.5		■														
Síntesis de Fuente de aluminio 1	Aluminio 99%, Hidróxido de Sodio	0.5			■													
Producción y prueba de Filtro 3	Zeolita Crivada(sin polvo),Fuente de aluminio preexistente, Reactor #1	0.5			■													
Producción y prueba de Filtro 4	Zeolita Crivada(sin polvo),Fuente de aluminio grado laboratorio. No ideal, Reactor #1	0.5			■													
<b>Falla de reactor</b>																		
Síntesis de Fuente de aluminio 2	Aluminio , Acidos	2.5					■	■	■									
Analisis de sistema eléctrico Reactor	Multimetro Esteren	1				■												
Arreglo de Controlador de resistencia variable del Reactor	A cargo de especialistas.	1				■												
Desarmar Reactor	Llaves de tuercas, martillo, sierra eléctrica, taladro eléctrico, cincel.	0.2						■										
Analisis de diseño de nuevo reactor(en base a materiales disponibles)	Investigadores	0.8						■										
Proceso de armado nuevo reactor	Llaves de tuercas, martillo, sierra eléctrica, taladro eléctrico, cincel, lana mineral,concreto refractario , resistencia (3500W)	3							■	■	■							
Prueba de Filtro 4 para filtrar Fluoruros (F-)	Espectrofotómetro, filtro 4,columna, bomba peristáltica.	1 día								■								
<b>Coronavirus Pandemia</b>																		
Encontrar investigaciones, acordes a mi experimento o que aportén datos para simular		11			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Redactar el reporte final																		
Buscar casos de deiseño para el tipo de filtro que desarrollo		3									■	■	■					
Simular Casos de diseño	No se encontró informació pertinente o util a el proyecto en específico.	0 no se logró																
Investigar sobre la situación del fluoruro y métodos de filtración de uso comun y reciebtamente investigados.		3														■	■	■

- Desarrollo de propuesta de mejora

Para los primeros dos filtros, se utilizó la misma agitación, 1 minuto cada 5 minutos y agitación constante los últimos 5 minutos, un tiempo total en el reactor de 25 minutos, 103 ml de agente activo sintetizado previamente a que comenzara el PAP con un 10% de HCL y la diferencia entre ambos fue que en el primero la reacción fue a 350°C y la segunda fue a 325°C.

Ambos filtros tuvieron un rendimiento menor a 100 ml de Solución Cr6+ a 100 PPM(mg/L), por lo que se decidió buscar un nuevo agente activo.



Figura 4 Prueba de filtro 2 en columna empacada a flujo constante (bomba peristáltica fondo a la derecha).

Síntesis de agente activo y prueba de filtro 3.

En vista del bajo rendimiento de los primeros dos filtros, se propuso el uso de Aluminato de Sodio como agente activo para el próximo filtro, para esto se produjo una solución con .05196g de Al/ml sol. Para el tercer filtro, se utilizó la misma agitación, 1 minuto cada 5

minutos y agitación constante los últimos 5 minutos, un tiempo total en el reactor de 25 minutos, 103 ml de agente activo Figura 5. Dando como resultado un rendimiento nulo.



Figura 5 Síntesis de Aluminato de sodio.

#### Prueba de filtro 4

Primero se preparó una solución de 50ml con 34.75g de agente activo grado laboratorio, esta solución se incorporó a 100 g de medio poroso cribado y lavado, por último, se utilizó la misma agitación, 1 minuto cada 5 minutos y agitación constante los últimos 5 minutos y un tiempo total en el reactor de 25 minutos.

El filtro empacado tuvo un desempeño de 250ml filtrados de solución Cr6+ 100PPM (mg/L) absorbido en 50 ml de medio filtrante. (Después de esto el reactor dejó de funcionar).

#### Nuevo reactor.

Después de la prueba del filtro 4, el equipo se percató que el reactor ya no era capaz de calentar el aire, por lo que se desconectó el dial con el que se controlaba la corriente de la resistencia, para así mandarlo al fabricante para revisión, una vez que se tuvo de regreso se probó de nuevo sin éxito, entonces se decidió desarmar la parte de la resistencia del reactor (tarea ardua porque se encontraba sellado en concreto) con lo que se encontró que la resistencia había sido destrozada por las altas temperaturas como se aprecia en la Figura 6.



Figura 6 Resistencia del reactor 1 dañada.

En base a material disponible en el laboratorio, tubos de diámetro grandes, coples, un bote de aluminio, reducciones de tubería y piezas de la resistencia pasado se diseñó y construyó la siguiente sección de calentamiento de aire por resistencia eléctrica para el reactor como se aprecia parcialmente en la Figura 7.

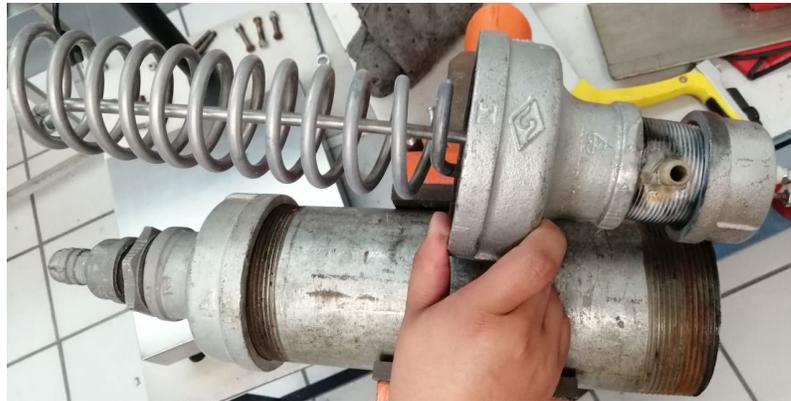


Figura 7 Resistencia nueva de 3500 W.

Primero se mandó a construir a la medida una resistencia de 3500 W (en comparación a la pasada de 2000 W) a Resistencias Raff (Empresa especializada en resistencias en Guadalajara).

Después se unieron las partes del reactor pasado y se acoplaron al nuevo sistema, entre estas partes se encuentran la conexión de la resistencia al reactor como se muestra en la Figura 8, las válvulas de paso de aire y los coples.

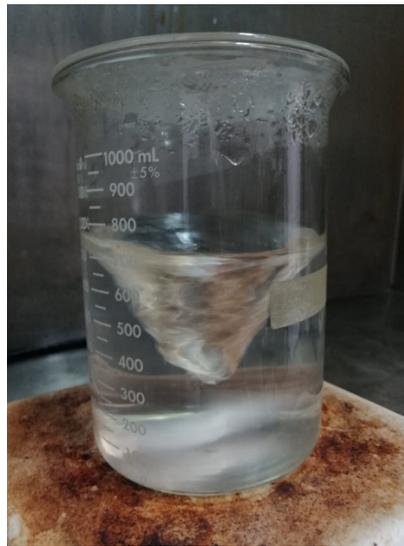


Figura 8 Conexión de la resistencia al reactor.

Antes de aplicar el aislamiento térmico se mandó soldar la entrada de aire de las bombas en el sistema, después se aisló dentro del bote de aluminio con lana mineral y cemento refractario usando el bote como soporte mecánico. Por último, se conectó al control de corriente y se empezó a probar temperaturas en estado estacionario con flujo de aire a diferentes porcentajes del controlador de corriente.

Síntesis en laboratorio de agente activo 2 (en base al activo de la prueba 4).

Esta síntesis fue exactamente la misma que la que se realizó previamente al inicio del PAP por los demás laboratoristas, con la diferencia que en este caso se intenta separar el ácido clorhídrico cristalizando el agente activo, pero como este se puede dañar a altas temperaturas, cada vez que se empieza a cristalizar, se agrega agua, con el paso de los días la solución va perdiendo su coloración que se atribuye a la presencia de ácido clorhídrico y se torna transparente como se observa en el grado de laboratorio, estos se observan en las Figuras 13 y 14.



Figuras 13 y 14 Proceso de separación por cristalización y rehidratación del agente activo 2.

### 3. Resultados del trabajo profesional

Se encontró que una de las fuentes propuestas de agente activo tuvo resultados prometedores para la filtración de altas concentraciones de  $\text{Cr}^{6+}$  (250ml de solución de  $\text{Cr}^{6+}$  a 100mg/L), de igual manera esto permitió comprobar que el proceso (tiempo, temperatura y agitación) sí eran indicados para lograr obtener el producto deseado, también se encontró que ciertas fuentes de agente activo no son propicias para la generación del medio filtrante, siendo que en algunos casos esto se debió a la presencia de ácido. Por esto se llevó a cabo el desarrollo un proceso de purificación de una fuente de agente activo, la cual es igual a la que permitió un resultado exitoso (en la prueba 4) pero producida con materiales y reactivos económicos.

También es importante rescatar el éxito en la construcción de un modelo mejorado y mejor adaptado a las necesidades del proyecto sobre el sistema de calentamiento del reactor, el cual se diseñó y construyó con materiales de reciclaje a la mano y que, como última actividad antes de la cancelación de actividades en laboratorio, se integró con éxito al sistema del reactor.

Debido a los contratiempos durante el trabajo de laboratorio como la posterior cancelación de las actividades de laboratorio debido a la pandemia, la conclusión de los objetivos de estudiar y encontrar el mejor método de producción del medio filtrante para  $\text{Cr}^{6+}$ , será continuado en el segundo PAP, de igual manera que será en este segundo PAP cuando se comience el trabajo para el desarrollo de un medio filtrante para la remoción de fluoruros ( $\text{F}^-$ ) mediante técnicas similares a las empleadas para la producción del filtro para  $\text{Cr}^{6+}$ .

Durante el tiempo en el que se trabajó en distanciamiento social, se buscó sobre la existencia de investigaciones previas sobre el filtro desarrollado y datos para simular, lo cual tuvo como resultado el encontrar que no existen desarrollos previos que fueran similares al de nuestro medio filtrante y por lo tanto no fue posible desarrollar simulaciones.

Por último, se desarrolló una breve investigación sobre los métodos existentes y recientemente desarrollados para la filtración de fluoruros, centrado en medios filtrantes mediante los procesos de adsorción e intercambio iónico así como la investigación

desarrollada sobre una patente de los mismos autores, para un sistema cíclico de filtración selectiva de Fluoruro mediante el uso de una columna cromatográfica y una columna de intercambio iónico, con resultados prometedores para su aplicación a gran escala en la filtración selectiva de fluoruros en medios con otros iones de interés.

A partir de esta investigación se encontró la importancia de la adsorción y el intercambio iónico en la filtración de fluoruro, para la aplicación de esta tecnología en sitio, teniendo como ventaja sobre la ósmosis inversa su bajo consumo energético para su operación. También se encontró, el cómo se comparan las diferentes opciones entre sí y de entre aquellas de alta importancia o más comúnmente utilizadas y sus mejoras recientes, se encontró el efecto que tiene el pH y la presencia de otros iones en la eficiencia de estos medios para filtrar fluoruro (15) (16) (17) (3) (18) (19).

#### 4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto

- Aprendizajes profesionales

Durante el proyecto se desarrolló una visión de la importancia de llevar un registro a detalle de todas las actividades, métodos y resultados del proyecto, con especial énfasis en que estas notas deben resultar fáciles de entender y replicar, en proyectos anteriores no se había estado en un ámbito en el que diversos equipos se vieran en la necesidad de acudir a las bitácoras de los otros para llevar a cabo un proceso.

Se desarrolló la competencia de trabajar al mismo tiempo que otros equipos en un lugar donde todo el material es compartido y de libre acceso, una situación que personalmente nunca había experimentado anteriormente y que, aunque tuve que acostumbrarme, resulto en un proceso de trabajo más fluido y que implicó más responsabilidad.

De igual manera en los momentos en los que se construyó el nuevo equipo de calentamiento para el reactor, implicó el exponerme al trato de personas fuera del laboratorio, como fue el caso de compañías cuyos servicios se requerían para completar el nuevo equipo, además que durante esta fase del trabajo se puso a prueba mis conocimientos de intercambio de calor y eléctrica.

Me parece que la investigación es algo que siempre será de mi interés, pero debido a la situación de abandono que sufre en este país por parte del gobierno, que en comparación a otros países resulta insuficiente, no consideraría dedicarme a tiempo completo a la investigación por lo menos en México, aunque aun así me interesaría llevar a cabo investigación como algo aparte de un trabajo principal.

- Aprendizajes sociales

Solamente mediante el desarrollo científico se puede llegar a desarrollar tecnologías que mejoren la vida de las personas, los medios filtrantes desarrollados y por desarrollar generan la base para tecnologías que permitan a personas que dependen de fuentes de agua contaminadas (sea por factores humanos o por factores naturales) tener una vida más plena y tener acceso a su derecho humano a la salud y al agua potable.

Los efectos a la sociedad de este proyecto no son de carácter directo sino indirecto y resultan de apoyo a todas las clases, desde clase baja, hasta industria (para evitar contaminar cuerpos de agua).

Todos los impactos son evidenciables mediante los resultados de los experimentos.

- Aprendizajes éticos

El conocimiento es una herramienta que perdura al pasar del tiempo, el trabajo de muchos investigadores tiene siempre incluido el servicio a la sociedad. Es por esto que las labores que se realizan en la investigación deben realizarse con el mayor esmero, calidad y entrega posibles para que su impacto sea trascendental para el bienestar de la sociedad.

- Aprendizajes en lo personal

El PAP me expuso a la cooperación con individuos de rumbos, carreras e instituciones diferentes en un ámbito de cooperación, respeto y amistad, con el enfoque de generar un desarrollo científico de nuevos conocimientos al servicio de la sociedad.

## 5. Conclusiones

Pese a que el objetivo fue inicialmente el encontrar el mejor método para la producción de un medio filtrante de  $\text{Cr}^{6+}$ , el simple logro de crear uno que tuviera un rendimiento como el que se obtuvo y el haber logrado tener listo el nuevo arreglo para el reactor el cual permitirá continuar la investigación sin contratiempos una vez que se retomen actividades, es más que satisfactorio en las condiciones que se presentaron durante este proyecto.

La investigación realizada sobre el fluoruro y sus métodos de filtración resulta suficiente panorama para entender la importancia de contribuir al desarrollo de métodos de filtración para este contaminante, cuyos efectos negativos afectan a muchas comunidades no solo en nuestro país, sino alrededor del mundo.

La situación en la que se vive actualmente denota la importancia de la investigación y el desarrollo así como su implementación en tecnologías, en un mundo donde agendas políticas restan importancia y presupuesto a las ramas de la ciencia y su búsqueda del conocimiento para el bien de la sociedad, sin percatarse que estas labores son las que con el tiempo se traducen en nuevas tecnologías y prácticas que permiten a las sociedades responder mejor y poder tomar una decisión más educada sobre el cómo responder a una situación desafiante.

Es por esto que opciones de PAP como la de Apoyo a centros investigación externos, aparte de ser una oportunidad para los alumnos de adentrarse en el mundo de la investigación científica de laboratorio y desarrollar sus habilidades y conocimientos ante el reto de problemas, que en muchos casos no se presentan en las actividades escolares, es una apoyo hacia estas instituciones, que les permite tener más personal y poder desarrollar sus proyectos hacia los objetivos de manera más rápida, en un ámbito con restricciones monetarias y de personal.

## 6. Bibliografía

### Bibliografía

1. Redacción Animal Político. Animal Político. [En línea] 6 de Febrero de 2020. <https://www.animalpolitico.com/2020/02/rio-santiago-jalisco-estudio-contaminantes/>.
2. Buisness & Human Rights Resource Centre. Blog: Río Santiago, una catástrofe ambiental según el Informe del Grupo de Trabajo sobre Empresas y Derechos Humanos de la ONU: Business & Human Rights Resource Centre. [En línea] 18 de Febrero de 2020. <https://www.business-humanrights.org/es/r%C3%ADo-santiago-en-jalisco-una-cat%C3%A1strofe-ambiental-seg%C3%BAAn-el-informe-del-grupo-de-trabajo-sobre-empresas-y-derechos-humanos-de-la-onu>.
3. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994. "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION". 1994.
4. United States Enviromental Proteccion Agency. Questions and Answers on Fluoride. EPA. [En línea] 2011. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/2011\\_fluoride\\_questionsanswers.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/2011_fluoride_questionsanswers.pdf).
5. *Well water fluoride, dental fluorosis, and bone fractures in the Guardiania Valley o Mexico*. Dozal, Alarcón Herrera Martían Dominguez Trejo Vázquez Rodríguez. 2001, Fluoride , Vol. 34, págs. 139-149.
6. *ENVIROMENTAL EVALUATION OF FLUORIDE IN DRINKING WATER AT "LOS ALTOS DE JALISCO," IN THE CENTRAL MEXICO REGION*. Hurtado,R.,& Gardea-Torresdey,J. 1741-1753, s.l. : Journal of Toxicology and Environmental Health, Vols. 67:20-22. 10.1080/15287390490493448 .
7. United States Enviromenta Protection Agency. Chromium(VI) CASRN 18540-29-9 | IRIS | US EPA, ORD. EPA. [En línea] [Citado el: 20 de Febrero de 2020.] [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance\\_nmbr=144](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=144).
8. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-SEMARNAT-2005. [En línea] [Citado el: 15 de Febrero de 2020.] <http://www.economia-noms.gob.mx/normas/noms/2006/052semarnat.pdf>.
9. Encyclopaedia Britannica. BRITANNICA. [En línea] 16 de Diciembre de 2013. [Citado el: 15 de Marzo de 2020.] <https://www.britannica.com/science/surface-chemistry-and-physics>.
10. IESTMA. IESMAT. [En línea] [Citado el: 2020 de Marzo de 27.] [https://iesmat.com/catalogos/WC\\_TECBET/area-bet/](https://iesmat.com/catalogos/WC_TECBET/area-bet/).
11. Nanociencias. *Área Superficial y Porosidad*. [En línea] [Citado el: 16 de Marzo de 2020.] <http://nanociencias.mx/area-superficial-y-porosidad/>.
12. Encyclopaedia Britannica. *Difusión*. [En línea] 25 de Septiembre de 2019. [Citado el: 03 de Marzo de 2020.] <https://www.britannica.com/science/diffusion>.
13. Ragazzini. Bombas peristálticas Serie Ms Modelo MS2 Instrucciones de uso. [En línea] [Citado el: 25 de MARzo de 2020.] [http://www.peristaltic-pumps-ragazzini.com/fileadmin/user\\_upload/Download/espagnol/Ragazzini\\_MS2\\_LM32ES001.pdf](http://www.peristaltic-pumps-ragazzini.com/fileadmin/user_upload/Download/espagnol/Ragazzini_MS2_LM32ES001.pdf).
14. Steemit. *Spectrophotometer Working Principle*. [En línea] [Citado el: 24 de Marzo de 2020.] <https://steemit.com/stemng/@sheglow/spectrophotometer-working-principle>.

15. *Adsorption equilibrium and kinetics of fluoride on sol-gel-derived activated alumina adsorbents*. Camacho, L. M., Torres, A., Saha, D., & Deng, S. 1, s.l. : Journal of Colloid and Interface Science, 2010, Vol. 349. 10.1016/j.jcis.2010.05.066.
16. *Selective removal of fluoride ions by a two-way ion-exchange cyclic process*. Castel, C., Schweizer, M., Simonnot, M., & Sardin, M. 17, s.l. : Chemical Engineering Science, 2000, Vol. 55. 10.1016/s0009-2509(00)00009-9.
17. *Manganese-oxide-coated alumina: A promising sorbent for defluoridation of water*. Maliyekkal, S. M., Sharma, A. K., & Philip, L. 19, s.l. : Water Research, 2006, Vol. 40. 10.1016/j.watres.2006.08.007.
18. *Removal of fluoride ions by ion exchange resin: Kinetic and equilibrium studies*. Samadi, Mohammad & Noori sepehr, Mohammad & Zarrabi, Mansur & Ramhormozi, Siyavash & Azizian, Saied & Amrane, Abdeltif. s.l. : Environmental Engineering and Management Journal, 2013. 13. 10.30638/eemj.2014.025. .
19. *Fluoride adsorption onto activated alumina: Modeling the effects of pH and some competing ions*. Tang, Y., Guan, X., Su, T., Gao, N., & Wang, J. 1-3, s.l. : Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2009, Vol. 337. 10.1016/j.colsurfa.2008.11.027.

## **Fluoruros, métodos e importancia de su filtración.**

### **Origen Industrial y natural.**

Los fluoruros existen de manera natural en la superficie terrestre, además de esto actividades de agricultura e industriales como lo son las de tratamientos para acero, vidrio, cerámicas, uranio y aluminio descargan iones de fluoruro en el ambiente (1).

### **Mundo.**

El fluoruro es uno de los tres químicos contaminantes de mayor importancia en adición del arsénico y los nitratos para el agua de beber. De manera global altos niveles de este contaminante se encuentran en cinturones que se extienden de Siria a lo largo del Jordania, Egipto, Libia, Argelia, Sudan y Kenia y de Turquía a través de Iraq, Irán, Afganistán, India, El norte de Tailandia y China. Casos similares se encuentran también en América y Japón. Se estima que mas de 70 millones de personas sufren de fluorosis en el mundo (2) (3) (1).

### **México, Jalisco y salud.**

En México el cumplimiento de las normas de salubridad respecto a presencia de sustancias como el Cromo y los Fluoruros es en muchos casos deficiente y en otras ocasiones la información sobre el verdadero estado de los cuerpos de agua se ha mantenido oculto del público como en el caso del Rio Santiago el cual es el mas contaminado de la República y cuyos estudios sobre los contaminantes que afectan a la población en sus inmediaciones se ocultaron por más de 10 años (4), en información recabada se registraron 506 muertes y 1593 personas enfermas de cáncer e insuficiencia renal entre 2008 y 2014 (5) .

Otro caso es en los altos de Jalisco y el valle de México donde se ha comprobado los efectos de las altas concentraciones de F- sobre la salud de la población expuesta.

En el laboratorio se tiene experiencia en semiconductores y ha habido varios trabajos relacionados con la eliminación de contaminantes en agua, en su mayoría relacionados con Foto Catálisis. Mas cercano al proyecto actual está el desarrollo de un medio filtrante de Arsénico en agua, pero este proyecto es uno recién comenzado y ajeno al anteriormente mencionado.

La NOM-127, la cual establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos

y privados, estipula que la concentración máxima de F- en agua potable es de 1.5 PPM (mg/L) (6) . En comparación, la norma vigente en Estados Unidos tiene estipulado una concentración de Fluoruros de 2PPM(recomendado) y una concentración máxima de 4PPM(Considerando que solo ocasiona Fluorosis Dental y que esto no es algo que concierne a la salud sino a la imagen). (6)

La EPA(Agencia de Protección Ambiental) reconoce que los adultos expuestos a altos consumos de Fluoruros son más propensos a sufrir fracturas en los huesos además de otros efectos que causan dolor. Por otro lado, el consumo moderado ayuda en la prevención del decaimiento de los dientes y prevención de caries, pero de igual manera como se comentará en los siguientes estudios, la EPA falla en reconocer la relación entre la Fluorosis Dental y la probabilidad de sufrir fracturas así como las concentraciones donde problemas óseos empiezan a desarrollarse.

(7)

En un estudio realizado en el Valle de Guadiana en México se encontró que en esta zona 84% de las fuentes de agua de la población se encontraban por arriba del límite establecido, el aumento del deterioro dental se encuentra directamente relacionado a las concentraciones altas de F-. En el estudio también se encontró una relación entre el índice de Fluorosis Dental y el porcentaje de fracturas en esta población, aunque la relación entre la concentración de F- y el porcentaje de fractura de huesos tuvo una tendencia anómala (8).

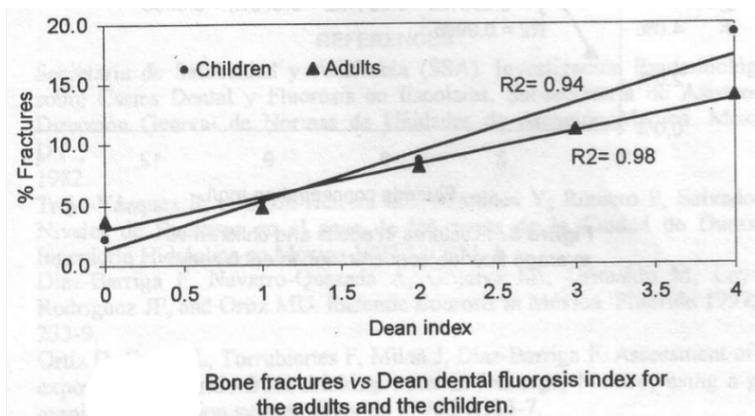


Figura 1 Fracturas de hueso contra Índice de fluorosis de adultos y niños (8)

Está grafica ilustra la correlación de la fluorosis con problemas óseos.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud la ingestión de Fluoruros en el rango de (.7 a 1.5 PPM) es recomendable para prevenir decaimiento en los dientes, sin embargo consumo de F- por

encima de 1.5PPM en periodos largos de tiempo tiene entre sus efectos fluorosis, osteoporosis, artritis, envejecimiento prematuro y retardo mental (9).

En otro estudio realizado en las Altos de Jalisco publicado en el JOURNAL of TOXICOLOGY and ENVIROMENTAL HEALTH, se encontraron que 42% de las fuentes de agua de las municipalidades que comprenden esta región se encontraban sobre la norma de 1.5 PPM, siendo que tres ciudades importantes tienen concentraciones altas, Lagos de Moreno (1.66-5.88 PPM F-), Teocaltiche (3.82-18.58 PPMF-) y Encarnación de Díaz (2.5-4.4 PPM F-) y con una población total conjunta es de 122,000 habitantes, se puede apreciar la generalidad de la exposición de la población a este contaminante que se presenta de manera natural. Además de esto algunas embotelladoras de agua superan hasta por 7 veces la norma oficial. (9)

### **Filtración.**

En la práctica los métodos usados suelen ser precipitación y sorción en la precipitación es común que se utilicen sales de calcio y aluminio en la industria. En los últimos años se han realizados estudios del uso de nano de nano y microfiltración en ósmosis inversa, adsorción entre otros. (3)

El fluoruro puede ser removido mediante múltiples procesos incluyendo adsorción, intercambio iónico precipitación química electrocoagulación y procesos de membrana como son la ósmosis inversa. Varios métodos para remover fluoruro sufren de problemas como alto costo de operación, falta de selectividad, dificultades en operación y dificultad en regeneración. La adsorción es un método relativamente simple y económico, el cual es especialmente apropiado para tratar el agua en comunidades pequeñas, debido a su afinidad por el fluoruro y su fácil acceso la Alúmina se ha

utilizado ampliamente como un método de bajo costo, siendo que esta también es conocida por limpiar arsénico y selenio. (2)

De entre los diferentes métodos de filtración como lo son la precipitación, intercambio iónico, ósmosis inversa, adsorción entre otras esta última es comúnmente usada para este contaminante gracias a su naturaleza universal, fácil de manejar y de bajo costo para filtrar incluso a bajas concentraciones.

Muchos adsorbentes tienen diversos problemas, en algunos trabajan a pH muy bajos ( $\text{pH} < 3$ ), mientras que otros son polvos finos que pueden ser suspendidos en la solución causando que la separación difícil. (3)

También se sabe que, debido a la naturaleza electronegativa del Flúor y su tamaño iónico pequeño, tiene afinidad a iones metálicos como lo son  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{La}^{3+}$ . (3)

### **Intercambio iónico.**

El intercambio iónico es similar en operación a la adsorción y muchos lo tratan como adsorción sobre un material que puede regenerarse.

Para esta sección se investigaron estudios sobre los materiales nuevos y comúnmente utilizados para la adsorción/intercambio iónico, así como los efectos del pH y otros iones y su capacidad de filtrar el ion Fluoruro y como se comparan.

Por último, se reporta él estudió mediante simulación y experimentación de una patente del mismo autor para un proceso cíclico de dos fases una de cromatografía para la separación de los iones presentes y una fase de filtración para el filtrado selectivo del anión fluoruro.

### **REMOVAL OF FLUORIDE IONS BY ION EXCHANGE RESIN: KINETIC AND EQUILIBRIUM STUDIES (1)**

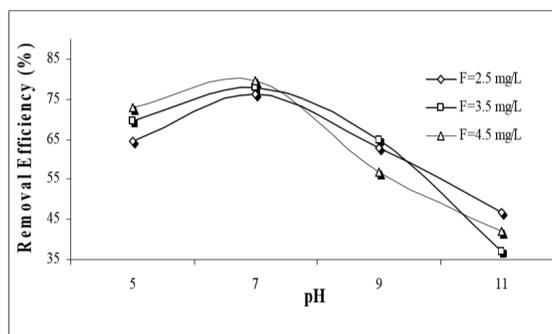
En un estudio sobre el uso de resinas de intercambio iónico de naturaleza (base fuerte) para filtrar Fluoruro y su cinética se encontró que tanto el pH como la presencia de otros iones tenía efecto en la capacidad de la resina para limpiar el agente contaminante.

El intercambio iónico tiene la ventaja sobre otros métodos su sencillez de operación, su bajo costo y su efectividad. Para una resina de intercambio iónico del tipo (base-fuerte) aniónica de Poliestireno-divinilbenzenico (OH<sup>-</sup>) de entre 0.3 y 0.5 mm de diámetro, comprada a Merck (Darmstadt,Alemania) se estudió en un sistema batch agitado para determinar su cinética y capacidad de limpiar el agua de iones F<sup>-</sup>(Fluoruro) así como el efecto del pH y presencia de otros iones sobre esta última característica.

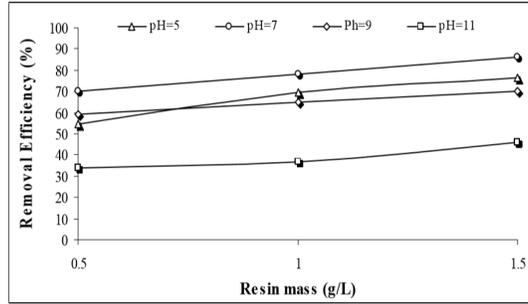
Nomenclatura:

- $q_e$  es ( $\text{mg}_F\text{-/g}_{\text{resina}}$ )
- $q_{\text{max}}$  es la capacidad máxima de la resina.
- $C$  es ( $\text{mg}_F\text{-/L}$ )

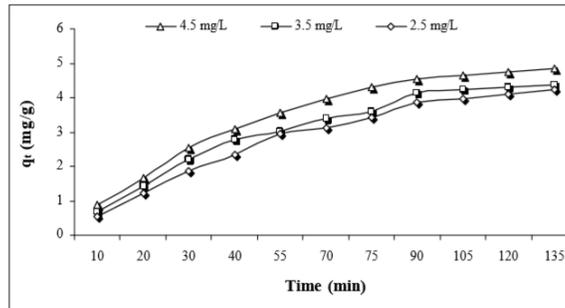
Los resultados de los efectos de las variables sobre la eficiencia de remoción se aprecian en las siguientes gráficas.



**Fig. 1.** Effect of the pH on the removal of fluoride (1 g/L of resin and 2 h contact time)



**Fig. 2.** Effect of the resin dosage on the removal of fluoride (3.5 mg/L of fluoride, room temperature and 2 h contact time)



**Fig. 3.** Effect of the initial fluoride concentration and contact time on the removal efficiency (for 1.5 g/L of resin and at pH 7)

Efecto de la concentración inicial de fluoruro y tiempo de contacto en la eficiencia de remoción.

La investigación también compara la capacidad máxima de adsorción de la resina comparada con otros adsorbentes.

Tabla (). Comparación de diferentes medios adsorbentes para la remoción de fluoruro.

**Table 2.** Maximum sorption capacity of some adsorbent for fluoride removal

<i>Adsorbent</i>	<i>q<sub>max</sub> (mg/g)</i>	<i>Reference</i>
Mixed rare earth oxides of activated alumina	0.74	Ghori and Pant, 2004
Granular acid-treated bentonite	0.278	Ma et al., 2011
Manganese-oxide-coated alumina	2.851	Maliyekkal et al., 2006
Mechanochemically activated kaolinites	0.6097	Meenakshi et al., 2008
Cross-linked chitosan	7.32	Miretzky and Cirelli, 2011
Natural chitosan	1.39	Miretzky and Cirelli, 2011
Light weight concrete	5.15	Oguz, 2007
Modified amberlite resin	0.061	Solangi et al., 2010
Low iron containing nickel laterites	15.02	Sujana et al., 2009
High iron containing nickel laterites	12.3	Sujana et al., 2009
Orissa Mining Corporation clay	15.17	Sujana et al., 2009
Polyacrilamye Ce (IV)-PO4 resin	7.75	Sundaram, and Meenakshi, 2003
Polyacrilamye Zr (IV)-PO4 resin	8.55	Sundaram, and Meenakshi, 2003
Polyacrilamye Al (III)-PO4 resin	10.87	Sundaram, and Meenakshi, 2003
granular red mud	8.92	Tor et al. 2009
H <sup>+</sup> form Resin	1.308	Viswanathan and Meenakshi, 2009
Na <sup>+</sup> form Resin	2.346	Viswanathan and Meenakshi, 2009
Al <sup>+3</sup> form Resin	2.112	Viswanathan and Meenakshi, 2009
Present resin	13.7	This work

Se puede apreciar que otros materiales tienen una  $q_{max}$  cercana o ligeramente mayor que la de esta resina (13.17 mg/g).

Relativo al efecto del pH, se encontró que un incremento del pH (de neutro pH=7 a pH>7) tienen como resultado un aumento de la cantidad de Fluoruro el final de la adsorción. En cuanto a la presencia de iones en competencia se experimentó y encontró que la presencia de dureza (CaCO<sub>3</sub>), nitratos y cloruros redujeron un poco la capacidad de adsorber F<sup>-</sup>, mientras que la presencia de sulfatos no tuvo efecto.

## Fluoride adsorption onto activated alumina: Modeling the effects of pH and some competing ions.

(2)

En este estudio las características de la Alúmina Activada como adsorbente de fluoruro fueron investigados de manera experimental usando métodos Bach. Se investigó el efecto del tiempo de reacción, el pH y el impacto de iones.

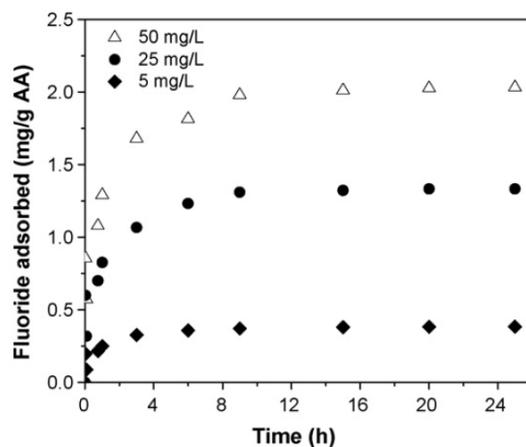
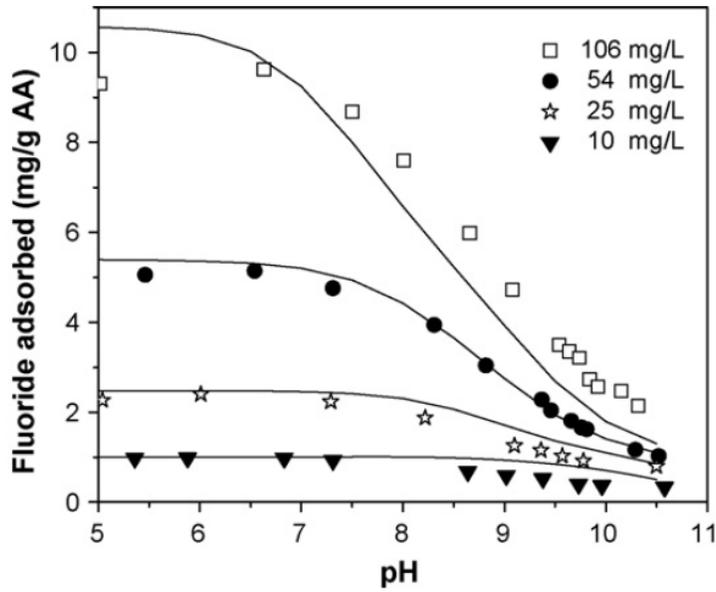


Fig. 1. Fluoride adsorption as a function of reaction time. Experiments were conducted under a pH of  $9.1 \pm 0.1$ , and adsorbent concentration of 10 g/L.

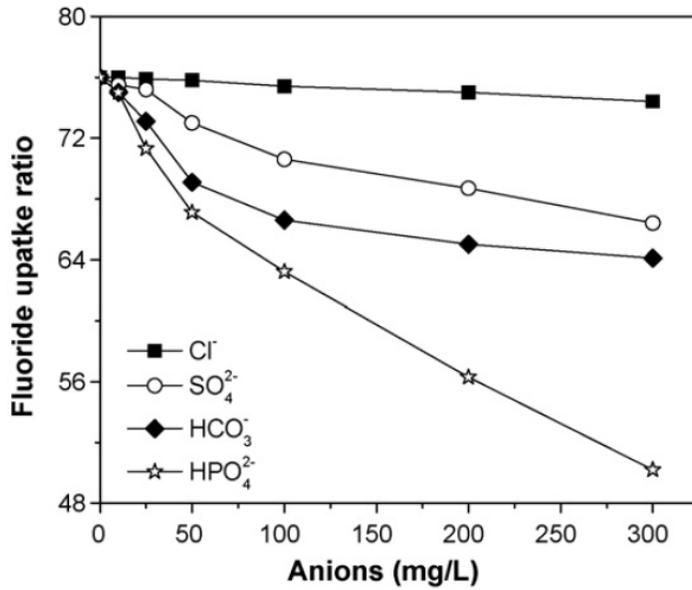
}

Fluoruro adsorbido en función del tiempo para diferentes concentraciones. (2)



**Fig. 2.** Effect of initial concentration on fluoride adsorption as a function of pH. The symbols indicate experimental data and the solid lines are model predictions (ionic strength = 0.01 M NaNO<sub>3</sub>; adsorbent concentration = 10 g/L).

Efecto de la concentración inicial de fluoruro en la adsorción en función del pH. (2)



**Fig. 5.** Effect of major anions on fluoride adsorption. Experimental conditions: initial fluoride concentration = 150 mg/L, adsorbent concentration = 10 g/L, ionic strength = 0.01 M NaNO<sub>3</sub>, pH 7.8 ± 0.1.

Efecto de la concentración de iones en competencia en la adsorción de fluoruro en la Alúmina. (2)

En conclusión, esta investigación determinó que la Alúmina es un adsorbente de fluoruro efectivo, pero es fuertemente dependiente de el pH y se ve afectado por la presencia de otros iones en el siguiente orden de importancia HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup>.

### Manganese-oxide-coated alumina: A promising sorbent for defluoridation of water (10)

En este estudio se prueba el potencial de un nuevo sorbente de Alúmina recubierta de óxido de manganeso (MOCA, Manganese-Oxide-Coated-Alumina) para limpiar fluoruro en agua para tomar y el efecto del pH, concentraciones iniciales y la presencia de iones que coexisten en el medio sobre la capacidad del MOCA así como de la Alúmina no recubierta.

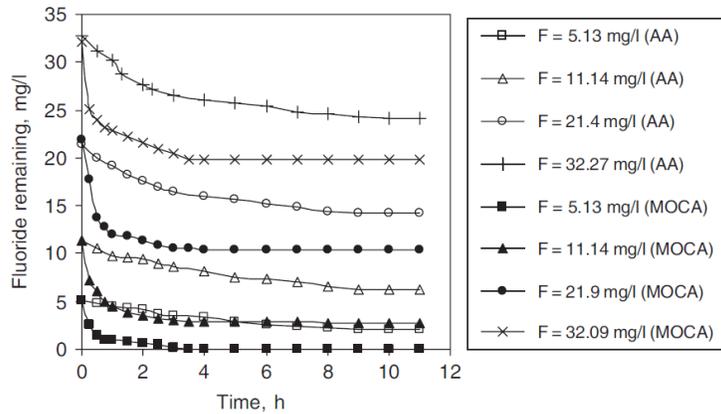


Fig. 2 - Adsorption kinetic curves of fluoride at various initial concentrations (adsorbent dose =  $5 \text{ g l}^{-1}$ ,  $\text{pH} = 7 \pm 0.2$ ).

Fluoruro sin filtrar contra tiempo, las figuras vacías corresponden a la Alúmina activada y las figuras rellenas corresponden al MOCA. (Denota como para el uso de MOCA el fluoruro restante es menor que cuando se usa AA). (10)

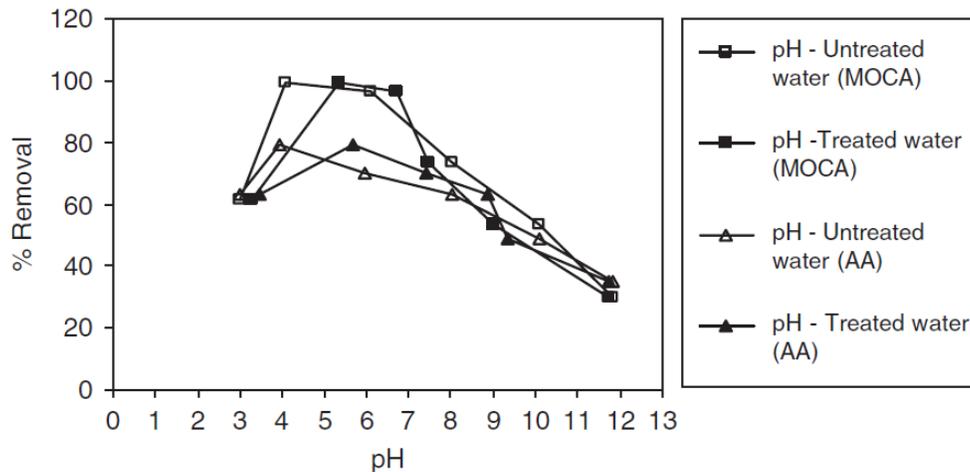


Fig. 6 - Effect of pH on fluoride removal by MOCA and AA (adsorbent dose =  $5 \text{ g l}^{-1}$ ).

% de remoción de Fluoruro contra pH para MOCA y AA con agua tratada y sin tratar. (10)

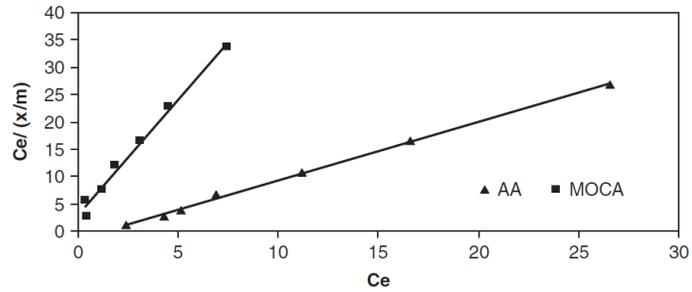


Fig. 7 - Langmuir isotherm fits for adsorption of fluoride onto MOCA and AA (initial fluoride concentrations  $\sim 2\text{--}30\text{ mg l}^{-1}$ , adsorbent dose =  $5\text{ g l}^{-1}$ ,  $\text{pH} = 7 \pm 0.2$ ).

Ajuste de la isoterma de Langmuir para adsorción en MOCA y AA. (10)

Tabla(), Isotermas y  $Q_{\text{max}}$  ( $q_{\text{max}}$ , capacidad máxima de adsorción) para MOCA y AA

Table 3 - Fluoride adsorption: Freundlich and Langmuir isotherm constants (initial fluoride concentration range = $\sim 2.5\text{--}30\text{ mg l}^{-1}$ )				
Model	Adsorbent	$K_F$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	$1/n$	$R^2$
Freundlich	MOCA	1.10	0.329	0.92
	Alumina	0.415	0.2585	0.88
Langmuir		$Q_{\text{max}}$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	$b$ ( $\text{l mg}^{-1}$ )	
	MOCA	2.851	0.631	0.99
	Alumina	1.077	0.675	0.99

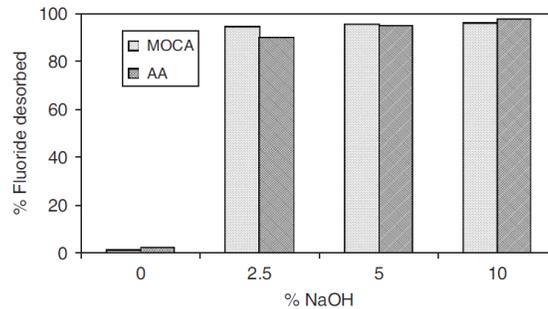


Fig. 9 - % Fluoride desorbed at various concentrations of NaOH (adsorbent dose =  $5\text{ g l}^{-1}$ , Initial fluoride concentration =  $\sim 5\text{ mg l}^{-1}$ ).

% de desorción de fluoruro para diferentes concentraciones de Hidróxido de sodio (NaOH) para el proceso de regeneración del adsorbente (MOCA y AA). (10)

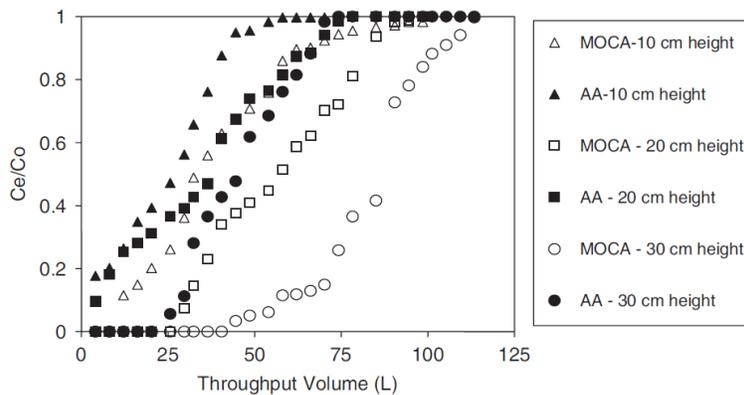


Fig. 10 – Breakthrough curves at different bed height for AA and MOCA ( $C_0 = 3.56 \text{ mg l}^{-1}$  flow rate =  $0.375 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ )

Curvas de quiebre para columnas de diferentes alturas (geometrias) para AA (vacíos) y para MOCA (oscuros). (10)

Siendo que se encontró que el  $q_{\text{max}}$  de  $2.85 \text{ mg/g}$  para el MOCA y de  $1.077 \text{ mg/g}$  para AA aunado a que la concentración de saturación del MOCA fue alrededor del 2.5 mas que el del AA y que es fácilmente regenerado usando una solución al 2.5% de NaOH como eluente. También se encontró que el rango ideal de pH para la operación es de un pH entre 4 y 7 y que los iones  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  no mostraron ningún efecto significativo sobre la capacidad de adsorber fluoruros sobre el MOCA.

Comparando estos resultados con la investigación anteriormente reportada, se aprecia la diferencia en los efectos de estos tres aniones previamente mencionados sobre estos dos adsorbentes, ya que mientras que en el caso del MOCA los efectos son despreciables, estos efectos si son importantes para la Alúmina Activada. Estor representa una mejora de interés sobre un material reportado de bajo costo y uso amplio para la capacidad de filtrado como para la selectividad de adsorción del Fluoruro sobre otros iones comúnmente presentes.

Comercialmente se presentan muchos sistemas de venta en tiendas de electrodomésticos para el hogar los cuales aseguran poder filtrar el fluoruro, en la mayoría de casos no se encontró pruebas contradictorias pero cabe mencionar que en su totalidad se hacía el uso de membranas de ósmosis inversa las cuales requieren grandes cantidades de energía y que a diferencia de la adsorción y el intercambio iónico, no serían de aplicación universal en zonas de escasos recurso ya que no poseen la características de la adsorción y el intercambio iónico de poder funcionar por simple gravedad.

Numerosas patentes proponen sistemas de control o diferentes arreglos de columnas de intercambio y filtros, pero no cuentan con un sistema que sea característicamente diferente a cualquiera sistema que se pudiera llegar a desarrollar para necesidades específicas. Sin embargo, el siguiente estudio sobre una patente demuestra las ventajas del arreglo y operación de una columna de intercambio iónico y una columna de cromatografía, las cuales trabajando de manera cíclica permiten gracias a sus procesos filtrar de manera selectiva el fluoruro siendo que esta selectividad se debe al proceso en sí y no a la naturaleza de la membrana de intercambio iónico implementada.

### **Selective removal of fluoride ions by a two-way ion-exchange cyclic process. (11)**

En una patente propuesta por los autores en la cual que propusieron una alternativa interesante para el particular problema de especies iónicas, que no tienen interacciones específicas con el medio y que tiene una afinidad particularmente débil por la resina de intercambio y iónico.

En este proceso se lleva a cabo un cromatográfico cíclico de dos fases basado en el intercambio iónico en el cual los iones de carbonato juegan el papel de eluyente, El ion fluoruro es separado de los demás, el principio del proceso consiste en remover este de esta fracción mediante la percolación en otra resina de intercambio iónico con forma  $\text{HCO}_3^-$ , por esto el arreglo esta compuesto por dos columnas de intercambio iónico, la primera es para la separación cromatográfica (en esta ocurre periodos de perfiles estables de concentración) la cual no requiere regeneración, mientras que la segunda tiene como propósito el retener el fluoruro, esta columna si debe ser regenerada.

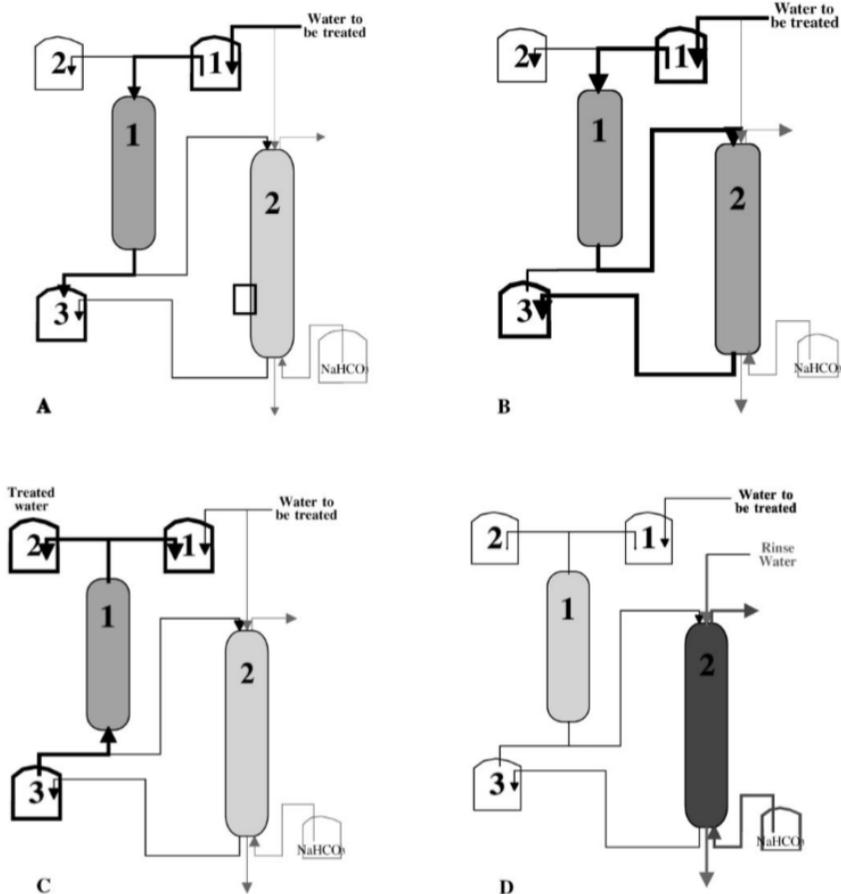


Fig. 2. (A) Downflow saturation step from tank 1 towards tank 3 throughout column 1. (B) Downflow saturation step from tank 1 towards tank 3 throughout columns #1 and 2. (C) Upflow production step from tank 3 towards tanks #1 and 2 throughout column 1. (D) Regeneration step of column 2 with a sodium hydrogen carbonate solution followed by a rinse step of the interstitial porous volume.

Dibujos ISO del sistema de dos fases para la remoción de fluoruro por medio de intercambio iónico y cromatografía cíclica y sus etapas de operación (en orden de A a la D). (11)

A: Flujo de saturación del tanque 1 hacia el 3 a través de la columna 1.

B: Flujo de saturación de la columna 1 a la 3 a través de la columna 1 y 2

C: Flujo inverso de producción desde el tanque 3 hacia el 2 y 1 a través de la columna 1.

D: Regeneración de la columna 2 con  $\text{NaHCO}_3$  y limpieza para siguiente ciclo.

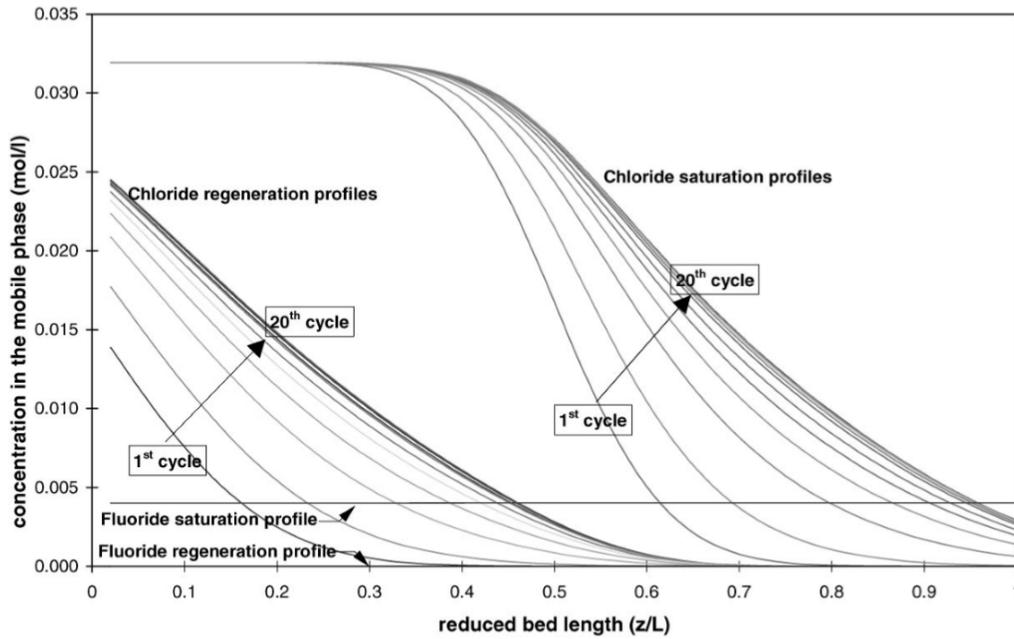


Fig. 4. Simulated concentration profiles for chloride and fluoride ions after the saturation and regeneration steps of the first 20 cycles. ( $J = 50$  mixing cells.)

Simulación de perfiles de concentración de iones de fluoruro y cloruro después de saturación y regeneración para 20 ciclos. (11)

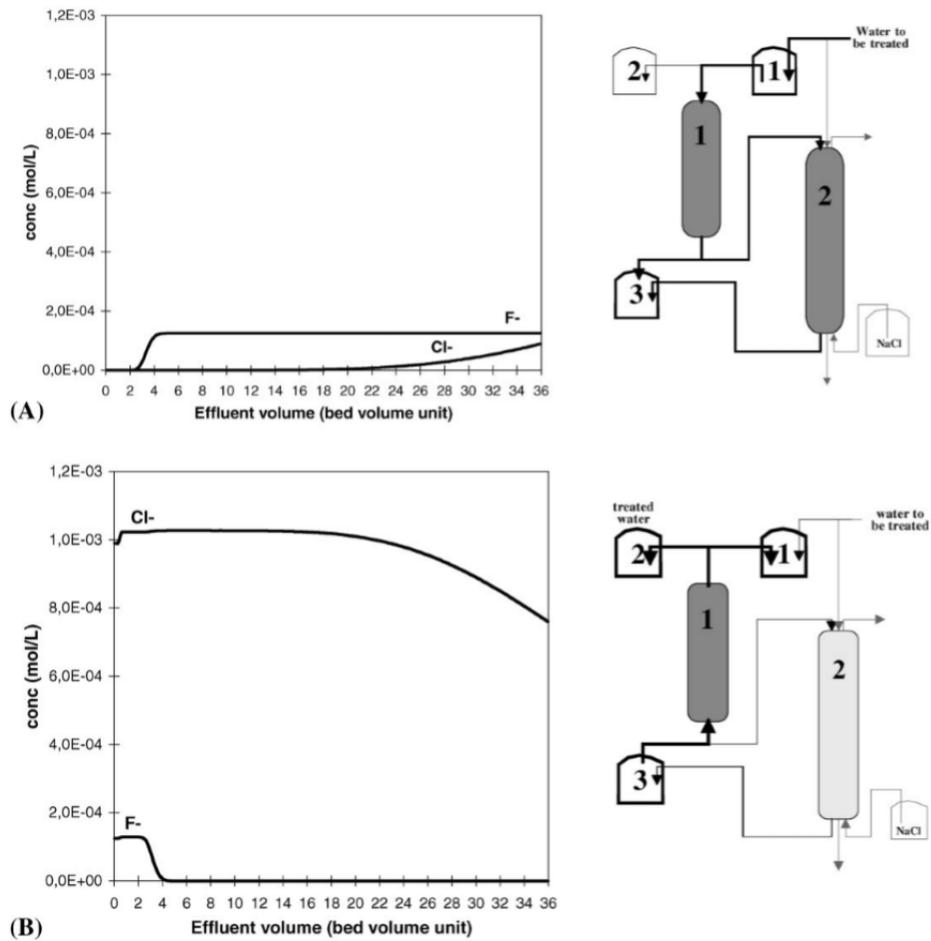


Fig. 5. (A) Simulated saturation breakthrough curves of fluoride and chloride ions at the cyclic steady state during the downflow saturation step at the bottom of the column 1. (B) Simulated elution curves of fluoride and chloride ions at the cyclic steady state during the upflow production step at the top of the column 1.

Curvas de quiebre simuladas de fluoruro y cloruro para (A) el ciclo estable de saturación al fondo de la columna 1 y (B) el ciclo estable de producción en la punta de la columna 1. (11)

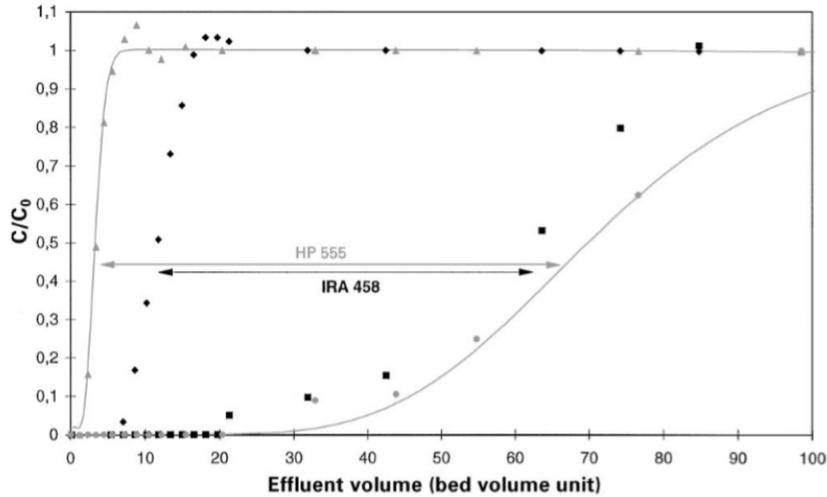


Fig. 6. Breakthrough curves of fluoride and chloride ions on the resins HP 555 (experimental points and simulated lines) and IRA 458 (experimental points) for the binary system as feed solution.

Curvas de quiebre de fluoruro y cloruro experimentales en las resinas HP555 y resina IRA458 para el sistema. (11)

La primera resina debe separar el fluoruro del cloruro tan rápido como se a posible, para esto la resina HP-555 fue elegida por permitir una diferencia de 67 volúmenes de empaque entre los volúmenes de quiebre de ambos, mientras que el IRA-458 tienen una mayor capacidad de adsorber Fluoruro mediante intercambio iónico.

El factor de remoción se puede ajustar con un 95% sin reciclaje de la solución y hasta un 99% reciclando un 12.5% de la solución que normalmente se iría como producto.

El autor considera que este proceso se podría tomar como una verdadera aplicación industrial alternativa a ya existentes para el aspecto químico de la selectividad para remover especies con interacciones débiles.

El autor concluye que este proceso patentado logra con éxito el remover de manera selectiva el fluoruro de agua carbonada que contiene iones cloruro y sulfato como competidores principales logrando entre un 95% y un 99% de remoción del contaminante.