

Julio de 2017

Grado en Ingeniería Química Industrial

Trabajo de Fin de Grado

Adsorción de fluoruro por Al_2O_3 activada.
Estudio influencia parámetros de operación.

CURSO 2016/2017

Autor:

Alejandro de la Rosa Ruano

Tutores:

Fernando Díaz González
M^a del Cristo Marrero Hernández

Contenido

1.	RESUMEN	5
2.	ABSTRACT.....	8
3.	ANTECEDENTES	11
4.	OBJETIVO	13
5.	INTRODUCCIÓN.....	15
5.1.	EL FLUORURO EN EL AGUA	17
5.2.	EL FLUORURO EN LAS AGUAS CANARIAS	17
5.3.	EFFECTOS DEL FLUORURO EN LA SALUD	19
5.4.	MECANISMO DEL FLUORURO EN LA SALUD	21
5.5.	SOLUCIONES A LA PROBLEMÁTICA DEL FLUORURO.....	22
5.5.1.	FUENTES ALTERNATIVAS DE AGUA	23
5.5.1.1.	AGUA EN EL AIRE.....	23
5.5.1.2.	AGUA DE SUPERFICIE	24
5.5.1.3.	AGUAS DE SUBSUELO.....	24
5.5.2.	MEJORA NUTRICIONAL.....	25
5.5.3.	ELIMINACIÓN DEL EXCESO DE FLUORURO DEL AGUA	25

5.5.3.1.	RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO	25
5.5.3.2.	COAGULACIÓN-PRECIPITACIÓN	26
5.5.3.3.	MÉTODO NALGONDA.....	27
5.5.3.4.	PROCESO CON MEMBRANAS.....	30
5.5.3.5.	ABLANDAMIENTO CON CAL	38
5.5.3.6.	ABLANDAMIENTO CON SULFATO DE ALUMINIO	39
5.5.3.7.	ALÚMINA ACTIVA COMO ADSORBENTE	39
5.5.4.	CRITERIOS DE SELECCIÓN	41
5.6.	ADSORCIÓN.....	41
5.7.	NORMATIVA.....	49
6.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
6.1.	INSTALACIÓN EXPERIMENTAL	51
6.1.1.	PROCESO EN DISCONTINUO.....	51
6.1.1.1.	EQUIPO JAR TEST	52
6.1.1.2.	ACTIVACIÓN DE LA ALÚMINA	52
6.1.2.	PROCESO EN CONTINUO	54
6.1.2.1.	COLUMNA DE ADSORCIÓN	55
6.1.2.2.	BOMBA PERISTÁLTICA.....	55
6.1.2.3.	TOMA DE MUESTRAS	56
6.2.	MÉTODOS ANALÍTICOS	56
6.2.1.	MEDIDA DEL pH.....	56
6.2.2.	DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FLUORURO.....	57
6.3.	PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS.....	59
6.3.1.	FLUORURO DE SODIO	60
6.3.2.	HIDRÓXIDO DE SODIO	60
6.3.3.	ÁCIDO SULFÚRICO	60
6.3.4.	ALÚMINA.....	60
6.4.	DISOLUCIONES UTILIZADAS	60
6.4.1.	PATRÓN DE FLUORURO.....	60
6.4.2.	MUESTRA SINTÉTICA	61
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63

7.1.	ESTUDIO EN DISCONTINUO	63
7.1.1.	ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL pH	64
7.1.2.	ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL % DE ADSORCIÓN CON EL TIEMPO	66
7.1.3.	APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE EQUILIBRIO	70
7.1.3.1.	MODELO DE FREUNDLICH.....	70
7.1.3.2.	MODELO DE LANGMUIR	72
7.1.4.	ESTUDIO CINÉTICO DEL PROCESO DE ADSORCIÓN	74
7.1.5.	INFLUENCIA DE LA REACTIVACIÓN DE LA ALUMINA.....	77
7.2.	ESTUDIO EN CONTINUO.....	80
7.2.1.	ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA ALTURA DE RELLENO Y LA CONCENTRACIÓN INICIAL DE FLUORURO.	80
7.2.2.	TIEMPOS DE OPERACIÓN	83
7.2.3.	APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE EQUILIBRIO	84
7.2.3.1.	MODELO BOHART-ADAMS.....	84
7.2.3.2.	MODELO THOMAS	87
7.2.4.	INFLUENCIA DE LA REACTIVACIÓN DE LA ALÚMINA.....	90
8.	CONCLUSIONES	94
9.	CONCLUSIONS	97
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	100
11.	ANEXOS	107
11.1.	DATOS DE OPERACIÓN EN DISCONTINUO	109
11.2.	DATOS DE OPERACIÓN EN CONTINUO	191

1. RESUMEN

1. RESUMEN

El presente trabajo de fin de grado se encuentra dentro de la línea de investigación que se lleva a cabo en el Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica de la Universidad de La Laguna, sobre el estudio de eliminación de fluoruro del agua, mediante adsorción con alúmina activa.

El agua es un recurso fundamental para la vida así como numerosas actividades humanas. Como consecuencia de una serie de factores, la calidad del agua disponible es cada vez peor.

Uno de los inconvenientes de la reducción de la calidad del agua es la presencia de determinados iones en concentraciones superiores a lo permitido por la legislación vigente, dentro de los cuales se encuentra el fluoruro.

Dependiendo de la localización geográfica, los niveles de fluoruro en aguas subterráneas pueden variar entre 0,01-30 mg F⁻/L.

En el mundo existen numerosas regiones afectadas por la presencia de altas concentraciones de fluoruro en el agua. En Canarias, particularmente en la zona norte de Tenerife, existen aguas subterráneas cuyas concentración de fluoruro supera los 8 mg F⁻/L, cuando la legislación en vigor, y las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece como límite máximo 1,5 mg F⁻/L [1]. De ahí la necesidad de realizar un estudio sobre eliminación de fluoruro de aguas subterráneas.

En este estudio se han realizado ensayos de adsorción de fluoruro por alúmina activada, tanto en discontinuo como en continuo, utilizando disoluciones sintéticas con diferentes concentraciones de fluoruro entre 2 y 25 mg/L y a temperatura ambiente.

En los ensayos en discontinuo se estudió la variación del pH y la evolución de las concentraciones de iones de fluoruro, con el tiempo, para diferentes concentraciones de alúmina. Se observa que el pH muestra una tendencia a mantenerse constante en el entorno

de pH entre 5 – 7, independientemente de la concentración inicial de fluoruro y la concentración de alúmina. En cuanto el ión fluoruro se puede afirmar que se alcanza el equilibrio al cabo de aproximadamente 90 - 120 minutos. Por otro lado, también se puede decir que los datos se ajustan, en determinadas condiciones, adecuadamente al modelo de las isotermas de Freundlich y Langmuir, y que el proceso de adsorción se ajusta a una cinética de pseudo segundo orden. Finalmente que los procesos de reactivación de la alúmina disminuyen su capacidad de adsorción.

Los ensayos en continuo se realizaron en una pequeña columna de adsorción, con diferentes alturas de relleno (cantidades de alúmina), varias concentraciones de fluoruro en la alimentación y caudal de disolución constante. Estos ensayos nos permitieron obtener las curvas de ruptura y los tiempos de operación. Se observó que para una altura determinada los tiempos de ruptura-operación eran inversamente proporcionales a la concentración de entrada. Se han obtenido las correlaciones correspondientes que nos permiten predecir, para cualquier altura y determinada concentración de fluoruro, el tiempo de operación. También se observó cómo, a medida que se sometía la alúmina a procesos de activación, los tiempos de operación, para unas determinadas condiciones, disminuían.

2. ABSTRACT

2. ABSTRACT

The present work of end of degree is within the line of investigation that is carried out in the Department of Chemical Engineering and Pharmaceutical Technology of the University of La Laguna, on the study of elimination of fluoride of the water, by adsorption with alumina Active.

Water is a fundamental resource for life as well as numerous human activities. As a result of a number of factors, the quality of water available is getting worse.

One of the disadvantages of the reduction of water quality is the presence of certain ions in concentrations higher than allowed by the current legislation, within which fluoride is found.

Depending on the geographical location, the levels of fluoride in groundwater may range from 0.01-30 mg F- / L.

In the world there are numerous regions affected by the presence of high concentrations of fluoride in the water. In the Canaries, particularly in the north of Tenerife, there are groundwater whose fluoride concentration exceeds 8 mg F- / L, when current legislation and recommendations of the World Health Organization (WHO) Maximum 1.5 mg F- / L. Hence the need to conduct a study on the removal of groundwater fluoride.

In this study, adsorption of fluoride by activated alumina has been carried out, both in batch and continuous, using synthetic solutions with different fluoride concentrations between 2 and 25 mg / L and at room temperature.

In the batch tests the pH variation and the evolution of fluoride ion concentrations, over time, were studied for different concentrations of alumina. It is observed that the pH shows a tendency to remain constant in the environment of pH between 5 - 7, independently of the initial fluoride concentration and the concentration of alumina. As for the fluoride ion it can be stated that the equilibrium is reached after about 90 - 120 minutes.

On the other hand, it can also be said that the data fit, under certain conditions, suitably the Freundlich and Langmuir isotherms model, and that the adsorption process conforms to a pseudo second order kinetics. Finally, the reactivation processes of the alumina decrease its adsorption capacity.

Continuous tests were performed on a small adsorption column, with different filling heights (amounts of alumina), various concentrations of fluoride in the feed and constant solution flow. These tests allowed us to obtain the rupture curves and the operating times. It was observed that for a given height the burst-operation times were inversely proportional to the input concentration. Corresponding correlations have been obtained that allow us to predict, for any height and determined concentration of fluoride, the operating time. It was also observed how, as the alumina was subjected to activation processes, the operating times, for certain conditions, decreased.

3. ANTECEDENTES

3. ANTECEDENTES

El agua es un recurso indispensable para la vida y escaso. A causa del carácter volcánico de las Islas Canarias, en algunas galerías de agua se pueden encontrar altas concentraciones de fluoruro disuelto, por encima del límite vigente que establece la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 1,5 mg/L, haciéndolas no aptas para el consumo humano. Esas aguas tienen efectos perjudiciales en la salud, como son la fluorosis dental, fluorosis esquelética, etc.

Las aguas de la isla de Tenerife se caracterizan por su alto contenido en fluoruro, calcio, magnesio y bicarbonatos. Debido a estas características es necesario buscar nuevas alternativas de suministro que incluyen procesos tecnológicos de tratamiento.

El Grupo de Tratamiento y Reutilización de Aguas (GTRA), del Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica de la Universidad de La Laguna, lleva trabajando desde hace años, en el tratamiento de aguas de algunas galerías situadas principalmente en el norte de Tenerife.

Como consecuencia de ello, se han realizado diversos Proyectos de Fin de Carrera y Trabajos Fin de Grado sobre la utilización de distintos procesos de eliminación de fluoruro presente en el agua y otras sustancias, su viabilidad técnica y los parámetros de los mismos.

Los resultados obtenidos en los trabajos anteriores han permitido conocer cada vez mejor el problema real e intentar buscar soluciones alternativas que permitan mejorar los rendimientos tanto desde el punto de vista técnico, como económico.

Es por ello, que se ha planteado este Trabajo Fin de Grado con la utilización de la técnica de adsorción con alúmina activa, con el objetivo de explorar a nivel, de laboratorio, su viabilidad para la separación de fluoruro de las aguas subterráneas de Tenerife, así como, estudiar las características de dicho adsorbente.

4. OBJETIVO

4. OBJETIVO

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado es el estudio de la alúmina como adsorbente para desarrollar un sistema de adsorción óptimo para la eliminación de iones fluoruro en agua para uso y consumo humano, así como, determinar las características del proceso de adsorción mediante alúmina activa.

Los objetivos específicos para el presente trabajo son:

- Estudio de actualización bibliográfica del proceso de eliminación de fluoruro en disoluciones acuosas mediante un proceso de adsorción con alúmina.
- Montaje y puesta a punto de la instalación correspondiente, para la adsorción en continuo a través de lecho fijo.
- Obtención de los datos de equilibrio en función de la concentración de fluoruro en el rango entre 2 y 25 mg F⁻/L y concentraciones de alúmina de 2, 4 y 8 g/L.
- Estudio en continuo, en una columna de relleno, de la posible influencia de:
 - a) Concentración inicial de fluoruro.
 - b) Altura de lecho.
 - c) Influencia de la reactivación de la alúmina.

5. INTRODUCCIÓN

5. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural indispensable para la vida y que se puede considerar un derecho.

Existen dos fuentes de toma de agua:

- Superficiales: constituidas por los ríos, lagos, embalses, arroyos, etc.

La calidad del agua superficial puede estar comprometida por contaminaciones provenientes de la descarga de desagües domésticos, residuos de actividades mineras o industriales, presencia de animales, residuos sólidos, y otros.

- Subterránea: su captación se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos excavados y tubulares.

Las fuentes subterráneas generalmente están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad compatible con los requisitos para consumo humano. Sin embargo, previamente a su utilización es fundamental conocer las características del agua, para lo cual se requiere realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos correspondientes.

Debido al crecimiento exponencial de la población y la industria se ha producido un decrecimiento en la calidad y la disponibilidad del agua con las propiedades indispensables para el consumo.

Este recurso cubre aproximadamente el 70 % de la superficie del planeta, no obstante solo el 2,5 % de este es potable y accesible para abastecer a la población mundial.

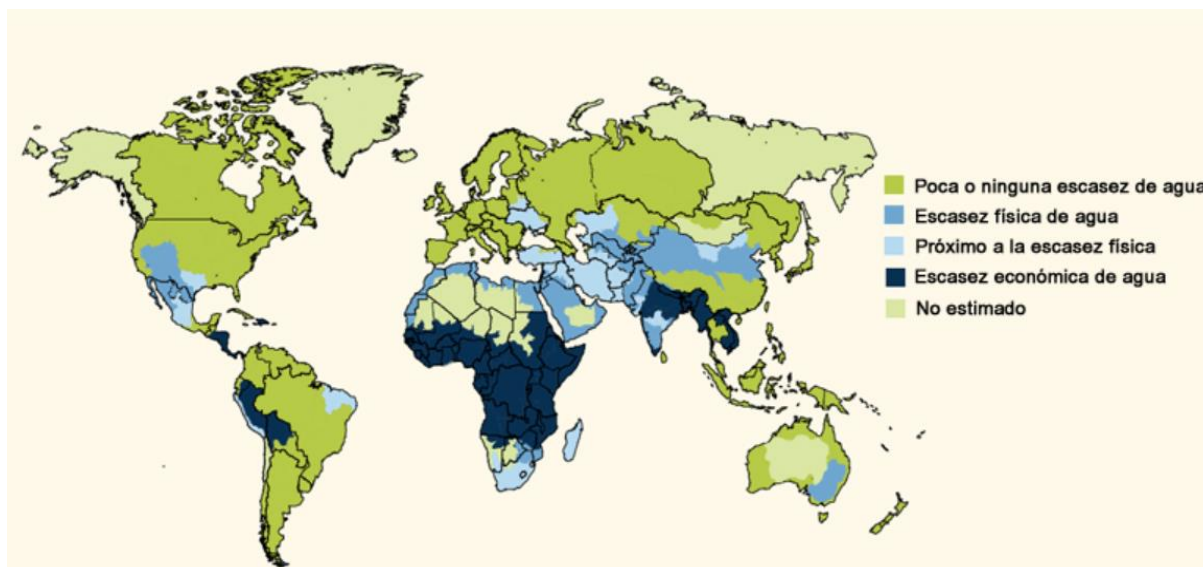


Figura 5.1. Escasez física y/o económica de agua a nivel mundial

El agua puede estar sometida a contaminación que puede causar enfermedades.

Según la Organización Mundial de la Salud se considera que el agua está contaminada cuando su composición se ha alterado de modo que no reúna las condiciones necesarias para ser utilizada beneficiosamente en el consumo del hombre y de los animales.

Durante las últimas décadas, el crecimiento acelerado de la población, la urbanización, la industrialización y la utilización indiscriminada de los recursos hídricos ha provocado la degradación de la calidad del agua y la reducción de su disponibilidad en muchos países.

Se produce la contaminación de las aguas debido a diversos factores ecológicos naturales, al desarrollo de cultivos intensivos, a la eliminación no controlada de residuos industriales, al tratamiento de las aguas residuales, etc.

La presencia de contaminantes en el agua ha provocado que esta no sea adecuada para su utilización directa no solo en el consumo humano o animal, sino también para otras actividades como el riego y la industria.

La presencia de fluoruro está ocasionando grandes problemas en muchas poblaciones en todo el planeta por provocar enfermedades, como la fluorosis.

En la actualidad se han propuesto varias tecnologías para eliminar iones fluoruro del agua, como son los métodos por precipitación de sales de sustancias químicas al agua; métodos de adsorción o de intercambio iónico en algún sustrato capaz de regenerarse y reutilizarse; la utilización de membranas de nanofiltración (NF), Ósmosis Inversa (OI) o permselectivas (Electrodialisis, ED); etc.

5.1. EL FLUORURO EN EL AGUA

A mediados del siglo XX, se empezó a realizar estudios toxicológicos a causa de sus efectos perjudiciales en la salud humana. En la última década el aumento del interés en los efectos de los iones fluoruro ha resurgido. A lo largo de toda la superficie de la corteza terrestre es de 0,3 gramos de fluoruro por kilogramo de masa terrestre aproximadamente, encontrándose entre los elementos más destacados.

El fluoruro es un elemento perteneciente a la familia de los halógenos con bajo peso atómico y electronegatividad elevada. Una característica fundamental es que a temperatura ambiente reacciona con facilidad con otros elementos. Los compuestos con base de fluoruro poseen numerosas aplicaciones. Los clorofluorocarbonos, como el freón es un agente dispersante y un buen refrigerante; o bien el teflón utilizado como un compuesto antiadherente. Los hidrocarburos líquidos fluorados son útiles como agentes lubricantes. En la industria de los productos dentales se utiliza elementos fluorados con frecuencia, sin embargo, la exposición a concentraciones elevadas, mayores de 1,5 mg/l puede causar enfermedades [2].

5.2. EL FLUORURO EN LAS AGUAS CANARIAS

El agua ha sido un elemento fundamental a lo largo de la historia de las islas canarias a causa de ser un recurso indispensable para la vida.

En las islas el agua se ha convertido en un recurso natural de gran importancia económica debido a su escasez y su falta de accesibilidad.

En cuanto al contenido de fluoruro en las aguas utilizadas para el abastecimiento público se encuentran varios problemas.

- Zonas que destacan por aguas de abastecimiento con concentraciones bajas de fluoruro.
- Zonas que destacan por aguas de abastecimiento con concentraciones altas de fluoruro.

Estas zonas se clasifican según el origen geológico y de la técnica de extracción utilizada.

Debido al origen volcánico de las islas del archipiélago, la mayor cantidad de agua se localiza en el subsuelo por la acumulación de precipitaciones caídas durante millones de años.

El agua utilizada para el consumo antiguamente provenía de algunos métodos artesanales como el uso de aljibes o gavias.



Figura 5.2. Aljibes de Lanzarote



Figura 5.3. Gavias en Fuerteventura

Actualmente, la mayoría de agua de consumo procede de pozos y galerías. Aunque hoy en día se destaca la utilización de las desaladoras, que consiste eliminar la sal del agua de mar o salobre. Las plantas desaladoras son instalaciones industriales destinadas a la desalación, generalmente del agua de mar o de lagos salados para obtener agua potable.

La primera planta desaladora de agua de mar de España se instaló en la isla de Lanzarote en 1964 y producía $2.500 \text{ m}^3/\text{día}$ de agua potable. El crecimiento económico y poblacional experimentado en las islas orientales no se hubiese producido sin la desalación de agua de mar. En total, Canarias cuenta con 281 plantas desaladoras en la provincia de Las Palmas y 46 en la provincia de Santa Cruz de Tenerife.

Podemos clasificarlas en:

- Desaladoras de agua de mar (EDAM)
- Desaladoras de agua salobre (EDAS)

5.3. EFECTOS DEL FLUORURO EN LA SALUD

El fluoruro posee varias propiedades fisiológicas de gran importancia para la salud humana. En pequeñas cantidades es un componente esencial para la mineralización normal del hueso y la formación del esmalte dental.

El exceso de fluoruro en el agua produce afecciones tales como fluorosis dental y la osteoporosis.

Conc. De fluoruro (mg/l)	EFFECTOS
< 0,1	efectos beneficiosos
1,0-3,0	Fluorosis dental (decoloración, manchado y picadura dental)
3,0-4,0	Los huesos y las articulaciones se vuelve rígidos y quebradizos
4,9-6,0 y superiores	Deformaciones en los huesos de la cadera, rodilla y finalmente parálisis que hacen que la persona no pueda caminar o estar de pie. Fluorosis esquelética.

Tabla 5.1. Efectos en función de la concentración de fluoruro [5]

Existen numerosos estudios científicos que exponen que el consumo regular de concentraciones de fluoruro puede contribuir en el desarrollo óseo y dental.

El fluoruro también se encuentra presente en algunos productos bucodentales como dentífricos, enjuagues bucales, elixires, etc.

En los dentífricos se encuentra como fluoruro sódico (NaF) o como monofluorofosfato de sodio ($\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$).

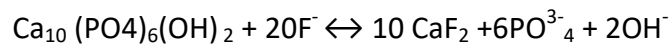
La fluorosis dental es un trastorno de la calcificación irregular en el proceso de formación del esmalte durante la infancia, lo que produce dientes picados, manchados y erosionados.

Normalmente el grado de fluorosis dental depende de la cantidad de exposición al fluoruro hasta la edad de 8-10 años, ya que el efecto de la fluorosis dental no puede ser evidente si los dientes ya se encuentran completamente desarrollados.



Figura 5.4. Fluorosis dental leve, moderada, grave

Se producen en el esmalte dental, al estar expuesta a fluoruro, la siguiente reacción:



La fluorosis esquelética consiste en una acumulación excesiva de fluoruro en los huesos, esto provoca cambios en su estructura haciéndolos frágiles y quebradizos afectando tanto a niños como a adultos. No se manifiesta hasta que la enfermedad alcanza una etapa avanzada.

El fluoruro se deposita principalmente en las articulaciones del cuello, rodillas, pelvis y los huesos, lo que dificulta el movimiento.

Los síntomas abarcan dolor esporádico, rigidez en la espalda, pinchazo y hormigueo en las extremidades, debilidad muscular, fatiga crónica, depósitos anormales de calcio en los huesos y ligamentos. La etapa avanzada es la osteoporosis en los huesos largos en los que pueden salir protuberancias óseas [4].



Figura 5.5. Osteoporosis en brazos y cuello

Además de la fluorosis ósea y la fluorosis dental, ingerir altos niveles de fluoruro puede llegar a causar degeneración de la fibra muscular, bajos niveles de hemoglobina, deformidades en los glóbulos rojos, sed excesiva, dolores de cabeza, erupciones en la piel, nerviosismo, problemas gastrointestinales, depresión, mal funcionamiento del trato urinario, etc.

También causa problemas en el funcionamiento del hígado, riñón, sistema digestivo, sistema reproductivo, etc.

Se evalúa que estos trastornos dañifican a más de 70 millones de personas a nivel mundial [6].

5.4. MECANISMO DEL FLUORURO EN LA SALUD

El fluoruro transforma la hidroxiapatita, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, del esmalte dental en fluorapatita, CaF_2 , que presenta mayor fortaleza a la descalcificación.

Otro mecanismo del fluoruro es la inhibición de la desmineralización y también como catalizador de la remineralización del esmalte.

El nivel de fluoruro en los huesos depende de varios factores:

- La edad.
- La ingesta de fluoruro.
- La tasa de movimiento de los huesos.
- Etc.

Mientras que si se ingieren adecuadas cantidades de fluoruro se pueden incrementar la mineralización dental y la densidad ósea, también puede reducir la probabilidad de caries dental, además facilita la remineralización del esmalte.

Por tanto, el fluoruro posee varios mecanismos de acción:

- Transforma la hidroxiapatita en fluorapatita, siendo ésta última más resistente a la descalcificación.
- Actúa como inhibidor de la desmineralización, así como, catalizador de la remineralización del esmalte desmineralizado.
- Ejerce de inhibidor de las reacciones de glucólisis de las bacterias de la placa dental, reduciendo así la formación de ácidos.
- Disminuye la producción de polisacáridos de la matriz extracelular en la placa dental.
- Pre-eruptivo: el fluoruro originario en la sangre se integra en la estructura mineralizada de los dientes en crecimiento, aumentando de forma leve la resistencia a la desmineralización ante la acción de ácidos orgánicos.
- Post-eruptivo: La participación del fluoruro sistémico en la formación de la estructura orgánica dental es prácticamente nula, tan sólo la parte expulsada por saliva tendría un papel significativo en la protección ante las caries.
- Efecto tópico (post-eruptivo): El fluoruro existente en la fase fluida de la superficie dental reduce la desmineralización e incrementa la remineralización del esmalte, siendo éste el más adecuado para prevenir la caries dental.

5.5. SOLUCIONES A LA PROBLEMÁTICA DEL FLUORURO

Para el cumplimiento de la normativa vigente, el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero en cuanto a lo relacionado con el contenido de fluoruro en el agua de abastecimiento se utilizan varios métodos:

- Usar aguas procedentes de otras fuentes con bajas concentraciones de fluoruro.
- Mejorar la nutrición de la población.
- Eliminar el exceso de fluoruro.

5.5.1. FUENTES ALTERNATIVAS DE AGUA

Se entienden por fuentes alternativas, las aguas con bajas concentraciones de fluoruro.

Estas fuentes pueden variar dependiendo de factores como la tecnología disponible, la comunidad, los costes y los recursos actuales [17].

Existen tres tipos fundamentales de fuentes:

- Agua en el aire.
- Agua de superficie.
- Agua de subsuelo.

5.5.1.1. AGUA EN EL AIRE

Un importante porcentaje de agua proviene de la evaporación.

El vapor de agua puede adoptar varias formas como en forma líquida, en forma cristalizada, etc.

En cuanto se habla de obtener agua a partir del aire se refiere a obtener agua de lluvia, o de la niebla utilizando captadores de niebla.



Figura 5.6. Captadores de niebla planos



Figura 5.7. Captadores de niebla cilíndricos

5.5.1.2. AGUA DE SUPERFICIE

Se entiende por agua de superficie a toda aquella procedente de ríos, lagos o incluso del mar con el tratamiento correspondiente.

Es la fuente más común ya que existen numerosas tomas.

5.5.1.3. AGUAS DE SUBSUELO

A causa de la distribución irregular del fluoruro en las aguas subterráneas es necesario realizar diversos controles:

En la mayoría de los casos, el agua subterránea se consigue cavando un pozo hasta el acuífero, y sacándola con cubos o bombas. A veces, cuando el acuífero fluye por una superficie desigual, aparece en la superficie. Esto se denomina manantial.

Otras veces, el agua subterránea se filtra a gran profundidad, donde la tierra está más caliente, por debajo de la capa fría, y su temperatura sube por efecto del núcleo terrestre. Esta agua se calienta, y cuando su vapor se expande se impulsa otra vez a la superficie, emergiendo a veces en forma de fuente termal.

5.5.2. MEJORA NUTRICIONAL

Los datos clínicos indican que la ingesta adecuada de calcio se asocia directamente con un menor riesgo de sufrir fluorosis dental.

Al aumentar la calidad de los alimentos, nutricionalmente se mantiene el equilibrio hemostático del organismo humano y reduce el riesgo de contraer enfermedades.

5.5.3. ELIMINACIÓN DEL EXCESO DE FLUORURO DEL AGUA

En los casos en los cuales no es posible utilizar fuentes alternativas se buscan métodos para eliminar el fluoruro del agua.

A causa de los numerosos problemas de índole técnico y económico resulta difícil garantizar la improbabilidad de contraer alguna enfermedad.

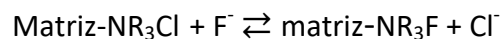
Por lo que a lo largo de la historia se han investigado otros métodos que sean asequibles y de los cuales se posean los medios necesarios.

Las tecnologías más utilizadas para la extracción de fluoruro del agua se basan en el principio de intercambio iónico, la coagulación-precipitación, procesos de separación mediante membranas y adsorción [14].

5.5.3.1. RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

Este método está basado en la eliminación de fluoruro del agua mediante la utilización de resinas que permiten el intercambio de aniones.

La reacción que se produce es la siguiente:



Los iones de fluoruro son reemplazados por iones de cloro.

Las ventajas y desventajas que implica el empleo de las técnicas basadas en el intercambio iónico para la eliminación del fluoruro son:

Ventajas:

- Su eficacia ronda el 90-95%.
- No afecta el sabor ni al calor del agua.

Desventajas:

- En presencia de otros iones la eficacia se reduce.
- La regeneración de la resina conduce a un residuo rico en fluoruro que hay que tratar
- Alto coste
- El agua tratada tiene un pH muy bajo y altos niveles de cloruro

Se pueden distinguir dos tipos básicos de resinas:

- Intercambio de cationes:

Resinas de intercambio de cationes emiten iones hidrógeno (H⁺) u otros iones como intercambio por cationes impuros presentes en el agua.

- Intercambio de aniones:

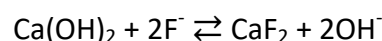
Resina de intercambio de aniones despedirá iones de hidroxilo (OH⁻) u otros iones de cargas negativas en intercambio por los iones impuros que están presentes en el agua [18].

5.5.3.2. COAGULACIÓN-PRECIPITACIÓN

Es un proceso químico que se basa en añadir productos químicos al agua a tratar produciendo la precipitación del fluoruro.

Los coagulantes más utilizados para la eliminación de fluoruro del agua son la cal, Ca(OH)₂ y el alumbre, KAl(SO₄)₂.

La adición de cal al agua se lleva a cabo en condiciones alcalinas provocando la precipitación de fluoruro como fluoruro de calcio y un aumento en el pH del agua hasta 12.

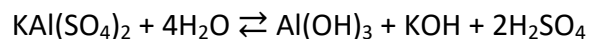


El proceso produce un cierto exceso de fluoruro que no se consigue eliminar, alrededor de unos 8 mg/l de iones de fluoruro.

No obstante, al utilizar el alumbre se consigue eliminar el fluoruro.

En la primera fase, la precipitación se produce por la adición de cal.

En la segunda fase, se añade el alumbre que provoca la coagulación [7].



Este método presenta una serie de limitaciones:

- Una parte muy pequeña del fluoruro se eliminan en forma de precipitados, la mayor parte se convierte en F^- , formándose un complejo soluble aluminio-ion fluoruro. El citado complejo es tóxico, de modo que no es aconsejable la adopción de la técnica en aguas de consumo humano.
- La utilización de sulfato de aluminio como coagulante, da lugar a que se produzca un incremento en la concentración de iones sulfato y, en algunos casos, se supere el límite máximo permisible (400 mg/L) que provoca efecto catártico en seres humanos.
- Debido a que el proceso no es automático, se requiere de un personal cualificado para la adición de productos químicos y el cuidado del proceso de tratamiento. Como consecuencia, se eleva el coste de mantenimiento de la planta.
- Se requiere una zona amplia para el secado de los lodos.
- La aparición de enfermedades peligrosas tales como la demencia, así como cambios estructurales, bioquímicos y fisiopatológicas, son provocadas por un residuo de aluminio de 0,2 mg/L en el agua [19].

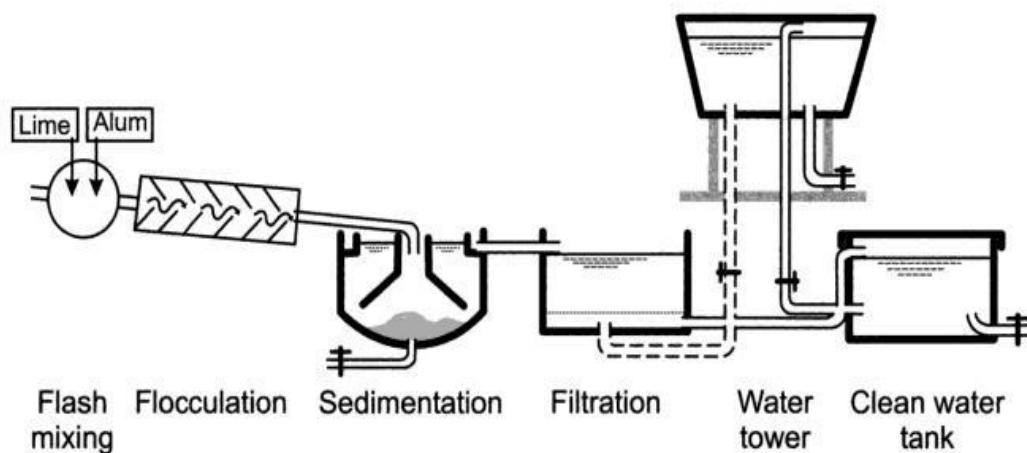
5.5.3.3. MÉTODO NALGONDA

La técnica Nalgonda fue desarrollada por el Instituto Nacional de Investigación de Ingeniería Ambiental (NEERI) de la India en 1974 para su uso en pequeñas instalaciones comunitarias o familiares y la primera implementación práctica fue realizada por Nawlakhe en 1975.

Esta técnica está basada principalmente en el concepto de reducción de fluoruro que se encuentran en el agua mediante el uso de sales de aluminio.

Solo se diferencia de la técnica tradicional por pequeñas modificaciones realizadas experimentalmente que incluyen entre otras, dos etapas de tratamiento y una etapa final de ajuste con filtro de hueso molido.

La técnica Nalgonda ha mostrado ser muy efectiva. Es un método muy simple que puede ser descrito como un proceso de coprecipitación, donde aluminio en forma de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y cal son introducidos al agua con fluoruro.



The Nalgonda process as installed in the United Republic of Tanzania.

Figura 5.8. Proceso Nalgonda utilizado en Tanzania

Se pueden distinguir cuatro tipos de procesos:

- Coagulación:

Se refiere a las reacciones químicas entre el aluminio y el agua, permitiendo la formación de $\text{Al}(\text{OH})_3$. El agregado de cal tiene por objetivo mantener valores de pH entre 6 y 7.

- Floculación:

Es la secuencia de reacciones electrostáticas que llevan al aglutinamiento de las partículas coloidales formadas durante la coagulación para formar grandes flóculos.

- Adsorción:

El fluoruro se elimina por adsorción del mismo en la fase sólida. La adsorción del fluoruro se da principalmente durante la floculación. Se ha determinado que la eliminación de fluoruro sucede en los primeros segundos del tratamiento.

- Sedimentación:

La formación de los flóculos facilita este cuarto proceso que es la sedimentación de partículas.

Los tratamientos mediante la técnica Nalgonda se pueden realizar tanto con un caudal discontinuo o un caudal continuo.

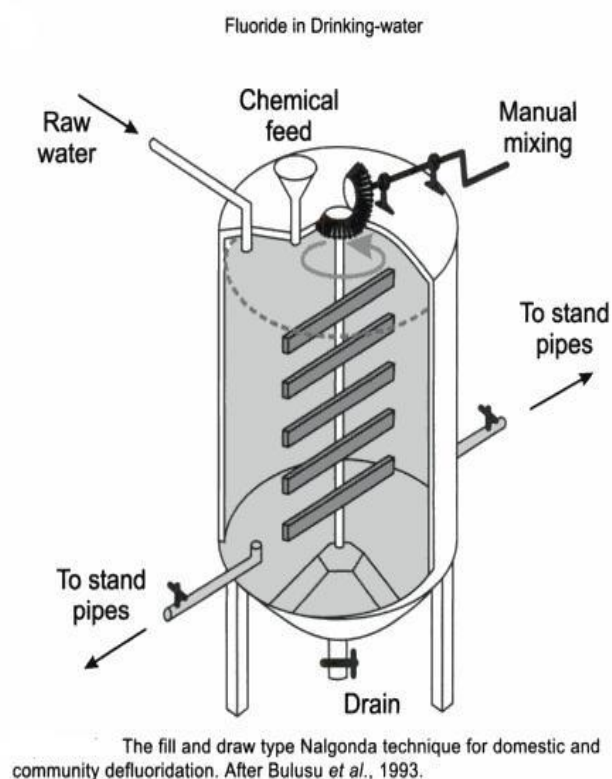


Figura 5.9. Sistema Nalgonda en régimen discontinuo.

La técnica Nalgonda se ha introducido en numerosos lugares no obstante, aún no se ha demostrado ser el mejor método, para la eliminación de fluoruro.

Los numerosos estudios experimentales muestran que una dosis de sulfato del aluminio para eliminar el fluoruro del agua puede llegar hasta 700-1200 mg/L.

Meenakshi *et al.*, (2006) señala cuáles son las ventajas e inconvenientes que conlleva la utilización de tecnologías basadas en la coagulación- precipitación para la eliminación del fluoruro en agua.

Ventajas:

- Es la técnica más eficaz para la eliminación de fluoruro en zonas rurales, especialmente de la India.

Desventajas:

- Baja efectividad del proceso 18-33%.
- El agua tratada presenta altas concentraciones de sulfato de aluminio.
- La matriz del agua cambia con el tiempo por lo que es necesario reajustar el proceso con frecuencia.
- Alto coste de mantenimiento.
- Proceso no automatizado.

	sulfato de alúmina	Hidróxido de cal	Nalgonda	calcita con aireación posterior
dosis/capacidad	150 mg/mg F	30 mg/mg F	150 mg Al + 7 mg cal/mg F	40 mg/mg F
pH de trabajo	-	-	6,5	-
coste	Medio-Alto	Medio-Alto	Medio-Alto	Medio-Bajo
ventajas	Proceso establecido	Proceso establecido	Proceso establecido. Baja tecnología.	Fango reutilizable. No altera demasiado la calidad del agua.
limitaciones	Producción de fango. El agua tratada es acida y con residuos de aluminio	Producción de fango. El agua tratada es acida	Producción de fango. Dosis altas de residuos de aluminio	Poca experiencia. Requiere I+D sobre tiempo de contacto y velocidad superficial.

Tabla 5.2. Principales tecnologías basadas en fenómenos de coprecipitación y coagulación.

5.5.3.4. PROCESO CON MEMBRANAS

El método más utilizado actualmente para la eliminación de fluoruro en el agua consiste en la utilización de membranas.

La eficiencia del proceso se presenta en función de varios factores como:

- Las características del agua bruta.
- La presión neta.
- Las propiedades de la membrana.
- La temperatura.
- El mantenimiento.
- La diferencia de concentración.
- Etc.

A causa de las últimas mejoras en la tecnología han provocado que este método resulte el más económico y efectivo.

Meenakshi et al., (2006) indica las ventajas e inconvenientes que conlleva la utilización de tecnología de membrana para la eliminación de fluoruro en el agua.

Ventajas:

- Alta eficiencia en la eliminación de iones, hasta un 99,9%.
- Elimina iones y desinfecta en una sola etapa.
- Garantiza una calidad del agua constante.
- Mantenimiento relativamente bajo.
- La vida de la membrana suele ser larga.
- Generalmente no existen problemas de interferencia con otros iones.
- Trabaja en un amplio rango de pH.

Inconvenientes:

- Necesita una etapa de remineralización posterior.
- Necesita una corrección del pH del agua producto.
- Se produce salmuera que hay que gestionar.

Existen varias membranas para la purificación del agua. Los factores que influyen en la selección de la membrana son:

- El coste.
- La recuperación.
- El rechazo.
- Las características del agua bruta.
- Tratamiento previo.

Las técnicas basadas en la utilización de membranas son:

- Filtración:

Este fenómeno tiene como resultado la disminución de concentración de una determinada sustancia en disolución o en suspensión.

Se pueden distinguir distintos tipos de filtrado:

- Filtrado por absorción:

Las moléculas disueltas en el agua son retenidas en el filtro mientras que el resto de partículas lo atraviesan.

- Filtrado por adsorción:

La retención de las partículas es por fuerza electrostática de tipo Van der Waals que atraen a las moléculas polares del agua

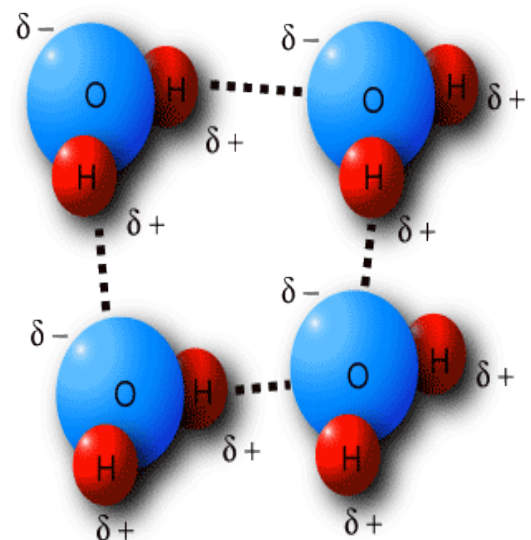


Figura 5.10. Fuerzas van der Waals en el agua

➤ Filtrado por Quimisorción:

Consiste en la retención de sólidos mediante la formación de enlaces químicos en la superficie del sólido filtrante.

➤ Filtrado por intercambio iónico:

En determinados lechos filtrantes al pasar agua con iones disueltos, estos precipitan al formar una sal no soluble con iones antes contenidos en el lecho.

• Nanofiltración (NF):

La nanofiltración es un fenómeno en el cual la presión es relativamente baja en el que se eliminan los sólidos disueltos. El tamaño de poro de la membrana es de aproximadamente de 1 nanómetro.

La nanofiltración puede ser utilizada en muchas aplicaciones tales como la fabricación de medicamentos, productos lácteos, textiles, panadería, agua, agua de laboratorio, agua de alta pureza, etc.

Las características de las membranas de NF son:

- Alto rechazo para iones divalentes y multivalentes.
- Elimina la dureza, acompañada de una reducción parcial y simultánea del sodio.
- Eliminan parcialmente los sólidos disueltos totales.
- Rechazan las especies orgánicas.
- Eliminan los precursores de trihalometano.
- Elimina bacterias, virus y parásitos.
- Tienen menor tendencia que la ósmosis inversa al ensuciamiento.
- Opera a baja presión, usualmente en el rango de 50-250 psi, con altas conversiones. Mínimo costo de energía.
- Tienen tasas de flujo más altas que la ósmosis inversa.
- Máximo flujo de producto.

- **Electrodialisis:**

El proceso de electrodialisis consiste en extraer los iones disueltos en agua haciéndolos circular a través de una serie de membranas de ion-selectiva.

Este fenómeno consiste en varias celdas de membranas de ion-selectiva.

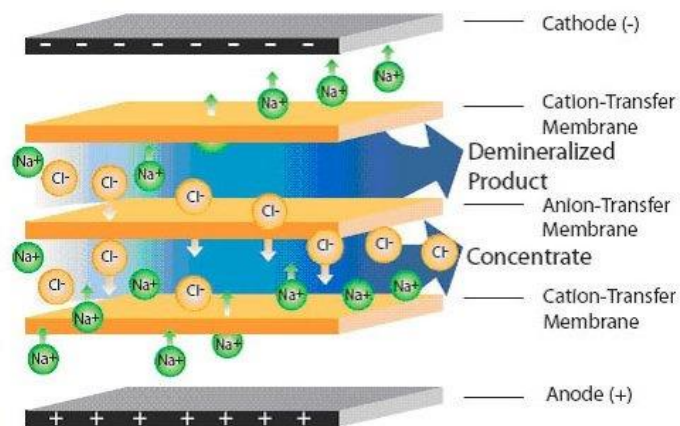


Figura 5.11. Esquema de membranas de la Electrodialisis.

Cada celda consta de muchas membranas catiónica y otras aniónicas. La membrana de intercambio catiónico tiene carga negativa y es permeable a cationes tales como Na^+ , K^+ y Ca^{2+} , mientras que la membrana de intercambio aniónico está cargada positivamente, y es permeable para aniones [19], [20], [21].

- **Ósmosis inversa:**

Es una tecnología de purificación del agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas y partículas [9].

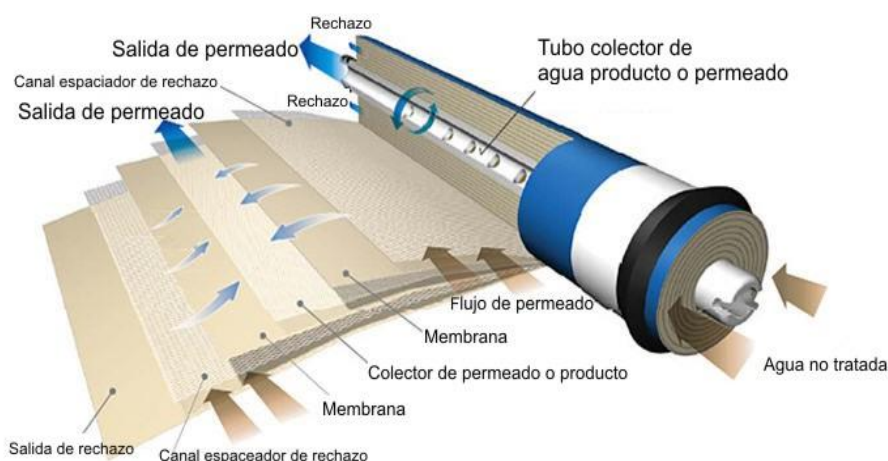


Figura 5.12. Estructura de membranas para Ósmosis Inversa

Este método presenta una serie de ventajas y desventajas

Ventajas:

- Funciona con amplio rango de pH.
- La vida de la membrana es lo suficientemente larga, de tal manera que los problemas asociados a la regeneración o reemplazamiento son menos frecuentes.
- Proceso muy eficaz para la eliminación de fluoruro ya que son una barrera muy buena para los sólidos en suspensión, los contaminantes inorgánicos, pesticidas y otros microcontaminantes orgánicos, microorganismos, etc.
- Permite el tratamiento y la desinfección de agua en un solo paso.
- No hay interferencia por otros iones.

Desventajas:

- El agua producto tiene carácter ácido por lo que es necesario la corrección del pH.
- Elimina casi todos los iones presentes en el agua, y como se requiere cierto grado de dureza para su utilización como agua potable, es necesario una remineralización después del tratamiento.
- Se pierde cierta cantidad de agua en forma de salmuera, siendo esta última un problema para su eliminación.

- El proceso es relativamente caro en comparación con otras opciones.



Figura 5.13. Esquema de eficacia de membranas

5.5.3.4.1. LEY DE DARCY

La ley de Darcy establece la relación entre la densidad de flujo de permeado y la presión transmembrana y las características de la disolución y la membrana.

$$J_V = \frac{\Delta P}{\mu * R_m} = L_p * \Delta P$$

Ecuación 5.1. Ley de Darcy

Dónde:

J_v : densidad de flujo del permeado.

R_m : resistencia intrínseca de la membrana.

μ : viscosidad dinámica del agua.

ΔP : presión transmembrana.

L_p : permeabilidad de la membrana en agua pura.

5.5.3.4.2. PERMEABILIDAD

La permeabilidad es la cantidad de disolución que atraviesa la membrana por unidad de superficie, tiempo y de presión.

$$L_p = \frac{1}{\mu * R_m} = \frac{J_v}{\Delta P}$$

Ecuación 5.2. Permeabilidad de la membrana

Dónde:

J_v : densidad de flujo del permeado.

R_m : resistencia intrínseca de la membrana.

μ : viscosidad dinámica del agua.

ΔP : presión transmembrana.

L_p : permeabilidad de la membrana en agua pura.

5.5.3.4.3. COEFICIENTE DE RECHAZO

En la utilización de membranas, un parámetro crucial es el coeficiente de rechazo.

$$\%R = \frac{C_B - C_P}{C_B} * 100 = \left(1 - \frac{C_P}{C_B}\right) * 100$$

Ecuación 5.3. Coeficiente de rechazo

Dónde:

%R: Coeficiente de rechazo del soluto.

CB: Concentración del soluto en el permeado.

CP: Concentración del soluto en la alimentación.

5.5.3.4.4. RECOVERY

El recovery o porcentaje de recuperación de alimentación es la relación entre el caudal de permeado y el de alimentación del sistema.

$$\%Y = \frac{Q_P}{Q_B} * 100\%$$

Ecuación 5.4. Recovery

Dónde:

%Y: Recovery.

Q_P : Caudal de permeado.

Q_B : Caudal de alimentación.

5.5.3.5. ABLANDAMIENTO CON CAL

Es el en el que se elimina el fluoruro mediante la adición de cal produciendo un precipitado insoluble y por coprecipitación con hidróxido de magnesio, $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

La alta solubilidad del fluoruro de calcio limita la reducción del fluoruro.

Por tanto, puede reducir los niveles de fluoruro en aguas con alto contenido en magnesio por arrastre al precipitar el $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

La ecuación teórica que relaciona la cantidad de fluoruro inicial con el residual mediante la aplicación de cal por su contenido en Mg es la siguiente:

$$F_{\text{residual}}^- = F_{\text{inicial}}^- - (0.07 * F_{\text{inicial}}^- * \sqrt{Mg})$$

En Tenerife, el agua presenta una composición con altas concentraciones de magnesio y de fluoruro [10], [11].

5.5.3.6. ABLANDAMIENTO CON SULFATO DE ALUMINIO

Para el agua destinada para el consumo humano se podrá eliminar el fluoruro utilizando sulfato de aluminio, no obstante, este método requiere demasiables cantidades de este, además el agua producto presenta una alta concentración de aluminio disuelto.

Otra opción es utilizar policloruro de aluminio, PAC, que a pesar de ser menos efectiva en cuanto a la eliminación de fluoruro produce menos aluminio residual.

5.5.3.7. ALÚMINA ACTIVA COMO ADSORBENTE

La alúmina activa se fabrica a partir de hidróxido de aluminio mediante deshidroxilación, produciendo una alta porosidad con un área superficial interna de entre 200-300 m^2/g , favoreciendo la disposición de un gran número de sitios activos donde se puede llevar a cabo la adsorción.

La eliminación del fluoruro mediante el contacto con alúmina activada, se conoce desde 1930, debido a que es un material con buenas propiedades de adsorción [12].



Figura 5.16. Muestra de alúmina activa.

Respecto al tamaño de las partículas de alúmina activada, la cinética de remoción es tal, que las partículas de menor tamaño proveen la más rápida captación del fluoruro; aunque deberá tenerse en cuenta que las partículas más pequeñas tendrán una gran tendencia a eliminarse en la operación de lavado. Se recomienda un tiempo mínimo de contacto de 5 minutos para la eliminación de fluoruro.

La alúmina activa se utiliza siguiendo el principio de las resinas de intercambio iónico. La alúmina activa presenta la capacidad de adsorción hidrolítica, es decir, la capacidad de eliminar ciertas especies de aguas.

Esta sustancia es capaz de reaccionar tanto con un ácido como con una base. Presenta un pH de 9,5, indicando que por debajo de este pH se eliminan los aniones mientras que a pH superiores se eliminan los cationes.

El tamaño de las partículas de alúmina activa influye en el poder de captación del fluoruro de manera que, a menor tamaño de partícula, mayor capacidad de adsorción.

Para la regeneración de la alúmina activa se utiliza hidróxido sódico acusa de la afinidad hacia los iones hidroxilos [13].

5.5.4. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Debido a la necesidad de la elección de un método para la reducción del fluoruro es necesario el estudio de determinados parámetros para seleccionar una técnica eficaz:

- El coste:

Normalmente al usar tecnologías de alta eficacia el precio aumenta, al igual que si se utilizan determinados compuestos y métodos de operación.

- Eficiencia:

En función de la eficiencia deseada se utilizará una técnica u otra

- Calidad del agua inicial:

Dependiendo de la calidad inicial del agua se podrá o no, partir de técnicas más sencillas y económicas.

- Material:

Se tiene que tener en cuenta los materiales a utilizar, destacando el adsorbente y su capacidad de regeneración.

5.6. ADSORCIÓN

La adsorción es un proceso fisicoquímico basado en la propiedad de atraer ciertas sustancias solidas de disoluciones en contacto con ellas. Este proceso ha ganado importancia actualmente debido a sus numerosas aplicaciones en la industria química y en el trabajo de laboratorio [15].

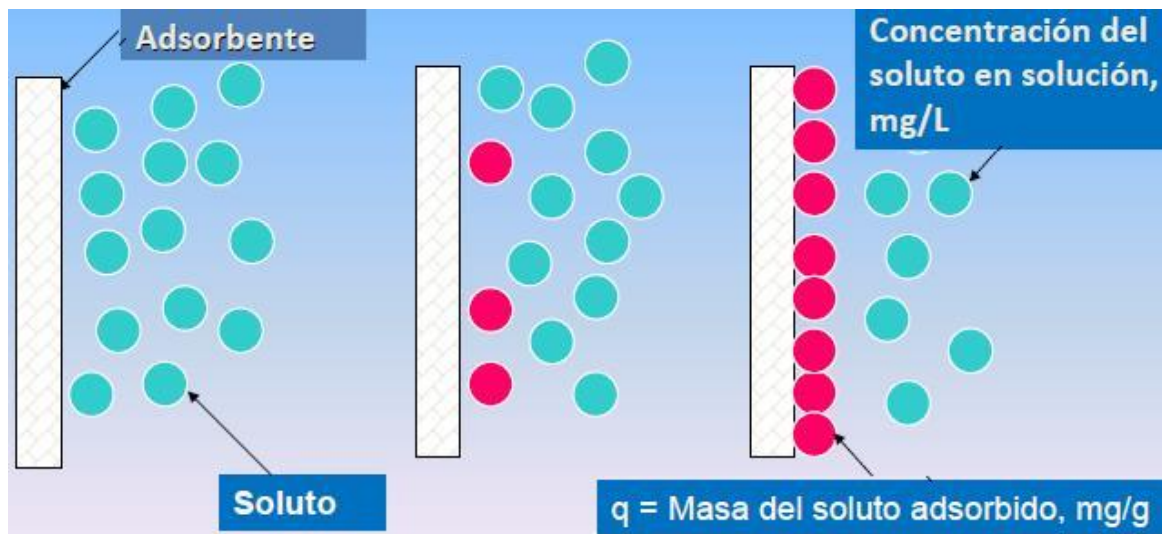


Figura 2.14. Esquema del proceso de adsorción [16].

En el proceso de adsorción se pueden diferenciar dos mecanismos:

- Adsorción física:

La adsorción física está basada en el principio de las fuerzas de Van Der Waals en el cual el componente que se adsorbe y el sólido interactúan entre sí.

- Adsorción química:

La adsorción química se basa en el enlace químico entre el soluto y el sólido adsorbente.

Existen numerosos adsorbentes eficientes para la eliminación del fluoruro como:

- Alúmina activa.
- Carbón activo.
- Alúmina activa cubierta con gel de sílice.
- Calcita.
- Serrín activado.
- Etc.

Dependiendo del proceso y el objetivo del mismo se elige el material más adecuado en función de unos parámetros que son:

- Facilidad de uso.

- Capacidad de adsorción.
- Posibilidad de regeneración.
- Costes de operación.
- Coste del adsorbente.
- Relación de equilibrio entre las fases.
- Número de ciclos que soporta.
- Tamaño de partícula.

El proceso de adsorción puede dividirse en 3 pasos:

- Macrotransporte:

Produce el movimiento por convección y difusión de los solutos a través de la fase líquida hasta la interfase sólido-líquido.
- Microtransporte:

Produce el movimiento a través del sistema de macroporos del adsorbente hasta alcanzar las zonas de adsorción que se hallan en los microporos y submicroporos.
- Adsorción:

Se produce en la superficie del adsorbente.

Este proceso presenta una serie de ventajas y desventajas:

Ventajas:

- El proceso puede eliminar el fluoruro hasta un 90%.
- El tratamiento es efectivo en cuanto al coste.

Desventajas:

- Una alta concentración de sales disueltas (TDS) puede provocar la contaminación del lecho de alúmina.
- Es necesario la regeneración del lecho, reduciéndose la eficacia del adsorbente para la eliminación de fluoruro, después de dicho proceso.
- El tratamiento de los lodos de disolución regeneradora que se encuentra cargada de fluoruro.

5.6.1. DINÁMICA DEL PROCESO DE ADSORCIÓN

El proceso de adsorción en régimen estacionario, es decir, con la disolución y el adsorbente en movimiento continuo, se ha de analizar para comprobar que el sistema se mantenga en equilibrio.

La concentración de soluto adsorbido sobre el sólido crece de manera proporcional al aumentar la cantidad de disolución que pasa a través del lecho fijo, de esta manera domina un estado no estacionario [24].

En una disolución con una concentración de soluto, al pasarla a través de un lecho fijo de adsorbente inicialmente libre de soluto, la parte más alta del lecho realiza una adsorción rápida y eficaz del soluto, y son las capas inferiores del lecho las que se encargan de eliminar totalmente la cantidad de soluto presente en la fase líquida.

En principio, el efluente que sale por el fondo del lecho está prácticamente libre de soluto. Puesto que el flujo de disolución continúa circulando a través del lecho, provoca una saturación de la parte superior del mismo. Asimismo, se produce un desplazamiento vertical inferior de la zona de adsorción similar a una onda con una velocidad menor a la velocidad lineal de la fase líquida.

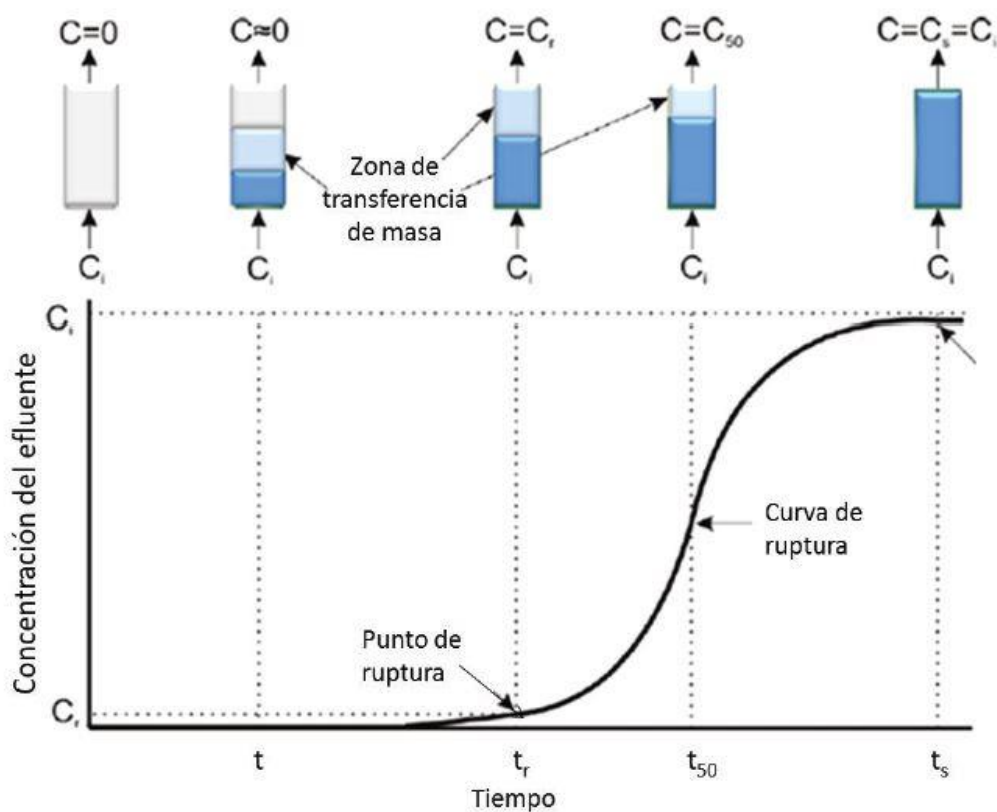


Figura 5.15. Curva del proceso de adsorción sobre lecho fijo.

Cuando el fondo del lecho es alcanzado por la parte inferior de la zona de adsorción se alcanza el punto de ruptura o breakpoint producido por un aumento desmesurado de la concentración de soluto en la fase líquida.

Actualmente existen numerosos modelos experimentales para simular las curvas de ruptura [23]:

- Modelo Bohart-Adams:

En este modelo se supone que la velocidad de adsorción es proporcional a la capacidad y a la concentración del material adsorbido.

$$\ln \frac{C}{C_o} = K_{AB} * C_o * t - K_{AB} * N_o * \frac{h}{V}$$

Ecuación 5.5. Ecuación del modelo Bohart-Adams

Dónde:

C_o : Concentración inicial del influente (mg/L).

C : Concentración del efluente (mg/L).

N_o : Capacidad de adsorción (mg/g)

k_{AB} : Const. Cinética del Modelo de Bohart-Adams (L/mg/min).

t : Tiempo de ruptura de la columna (min).

V : velocidad del flujo lineal (cm/min) (razón entre el flujo volumétrico Q_v (mL/min) y el área de sección transversal de la columna (cm²)).

h : Profundidad o altura de la columna (cm).

- Modelo Thomas:

Es el más utilizado para describir el comportamiento del proceso de adsorción en columnas de lecho fijo.

$$\ln \left(\frac{C_o}{C} - 1 \right) = \frac{K_{TH} * q_o * M}{Q} - K_{TH} * C_o * t$$

Ecuación 5.6. Ecuación del modelo Thomas

Dónde:

C: Concentración del soluto en el efluente (mg/L).

C_o : Concentración del soluto en el influente (mg/L).

K_{TH} : Constante de velocidad de Thomas (L/ (min*mg)).

q_o : Máxima concentración de soluto en la fase sólida (mg/g).

M: Masa del adsorbente (g).

V: Volumen del efluente (mL).

Q: Flujo volumétrico (mL/min).

t: Tiempo (min).

- Modelo Metclaf-Eddy:

Mediante este método se puede determinar la capacidad de adsorción después de alcanzar una concentración límite.

$$q = \frac{\left(C_o - \frac{C_e}{2}\right) * Q * t_s}{m}$$

Ecuación 5.7. Ecuación del modelo Metclaf-Eddy.

Dónde:

q: Capacidad de adsorción (mg/g).

C_o : Concentración inicial del influente (mg/L).

C_e : Concentración del efluente (mg/L).

Q: Flujo volumétrico (L/min).

t_s : Tiempo de servicio de la columna (min).

m: Masa del sorbente (g).

5.6.2. EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN

Cuando se igualan las tasas de adsorción y desorción se alcanza el equilibrio de adsorción. En este punto se agota la capacidad de adsorción del adsorbente.

Al calcular la isoterma de adsorción se puede conocer la capacidad teórica de adsorción.

Las fórmulas más frecuentes empleadas para el tratamiento de los datos experimentales de la isoterma fueron desarrolladas por Freundlich y Lagmuir (Worku et al., 2007), (Shihabudheen et al., 2006), (Maurice et al., 2004), (Alvin et al., 2010), (Vijaya et al., 2009).

- **Isoterma de Freundlich:**
Deriva de consideraciones empíricas, y se expresa como:

$$q_e = K * C_e^{\frac{1}{b}}$$

Ecuación 5.8. Ecuación de la Isoterma de Freundlich.

Dónde:

q_e = cantidad adsorbida por peso unitario de adsorbente, “ q_e ”.

C_e = concentración de equilibrio de adsorbato en solución después de la adsorción.

K, b = constantes empíricas del modelo.

- La isoterma de adsorción de Lagmuir [22]

Se desarrolló adoptando las siguientes hipótesis:

- El soluto adsorbido forma una capa monomolecular.
- En el equilibrio, la velocidad de adsorción es igual a la velocidad de desorción desde la superficie.

$$q_e = \frac{b * q_0 * C_e}{1 + q_0 * C_e}$$

Ecuación 5.9. Ecuación de la Isoterma de Lagmuir.

Dónde:

q_e = cantidad adsorbida por peso unitario de adsorbente " q_e ".

q_0, b = constantes empíricas del modelo.

C_e = concentración de equilibrio de adsorbato en solución después de la adsorción.

El equilibrio se alcanza cuando la velocidad de adsorción de las moléculas sobre la superficie es la misma que la velocidad de desorción de las mismas. Así pues, la velocidad a la que se lleva a cabo la adsorción es proporcional a la fuerza que la produce, que corresponde a la diferencia entre la cantidad adsorbida para una cierta concentración y la capacidad de adsorción a dicha concentración. A la concentración de equilibrio, esta fuerza es nula.

Meenakshi, señala cuáles son las ventajas e inconvenientes que conlleva la utilización de las tecnologías basadas en fenómenos de adsorción para la eliminación del fluoruro en agua potable, (Meenakshi et al., 2006).

Ventajas:

- El proceso puede eliminar hasta un 90% de fluoruro.
- El tratamiento es rentable.

Desventajas:

- El proceso tiene una gran dependencia del pH, siendo los valores de pH óptimos, los comprendidos entre 5 y 6.
- Un alto contenido en sales puede contaminar el lecho adsorbente.
- Existe competencia del sulfato, fosfato y carbonato con el fluoruro.
- Necesidad de pretratamiento.
- Necesidad de regeneración.

Los parámetros que más influyen en el proceso de adsorción son:

- pH.
- tiempo de contacto.

- concentración inicial de fluoruro.
- cantidad de adsorbente.
- coexistencia de otros iones.
- velocidad de circulación.

5.7. NORMATIVA

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece 1,5 miligramos por litro como límite de seguridad de iones de fluoruro en el agua para el consumo. No obstante, la Agencia de Protección Ambiental recomienda unos 0,7 miligramos por litro.

En España la concentración de fluoruro en el agua de consumo está regulada por el Real Decreto 140/2003 del 7 de febrero de 2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua para el consumo humano [25], [26].

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

Para la eliminación del fluoruro en el agua este estudio se ha centrado en dos procesos:

- Proceso en discontinuo.
- Proceso en continuo.

6.1.1. PROCESO EN DISCONTINUO

Para realizar este proceso se utilizó un Jar Test que permitió mantener la agitación a una velocidad controlada.

A cierto volumen de agua con una concentración de fluoruro conocido, se le añade una determinada cantidad de alúmina activada (Al_2O_3), se determina el valor del pH y se ajusta utilizando ácido clorhídrico o hidróxido sódico diluido según se requiera.

La mezcla se somete a agitación en el Jar Test durante un tiempo determinado a temperatura ambiente.

6.1.1.1. EQUIPO JAR TEST

El equipo Jar Test consta de seis palas agitadoras y de dos consolas digitales donde se puede ajustar la velocidad de giro de las palas, entre 0 y 300 rpm, y el tiempo de agitación.

El equipo utilizado fue un Leaching Jar Test de la casa comercial Velp. Scientifica [27].



Figura 6.1. Jar test

6.1.1.2. ACTIVACIÓN DE LA ALÚMINA

Para poder utilizar la alúmina como adsorbente, esta se somete a un proceso de activación.

La activación es un procedimiento que se realiza en el Jar test siguiendo una serie de pasos:

1. A un litro de disolución al 1% NaOH, se le añade alúmina (Al_2O_3) y se mantienen en contacto.
2. Para eliminar los posibles restos de sosa en la alúmina separada, se le realiza un lavado con agua ultra pura.
3. A continuación, se pone en contacto con 1 litro de disolución 0,05 N H_2SO_4 .
4. Se lava la alúmina con agua ultra pura para eliminar los posibles restos de ácido.

5. Después de separar la alúmina se introduce en una estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$ para eliminar la humedad. Se considera alúmina regenerada o activada, a la obtenida después de los pasos citados.

Cabe destacar que la separación de la alúmina de cada disolución se realiza mediante filtración a vacío y utilizando para ello un filtro de $0,45\text{ }\mu\text{m}$.

6.1.2. PROCESO EN CONTINUO

Para el estudio de la eliminación de fluoruro mediante alúmina activa en continuo, se utilizó la instalación cuyo diagrama de flujo se indica en la Figura 6.2.

La disolución, a temperatura ambiente, se bombea desde el tanque de alimentación hasta el depósito de salida pasando por la columna de adsorción rellena con la cantidad correspondiente de alúmina activa.

Se trata de una instalación simple que se compone de:

- Un tanque de alimentación.
- Una bomba peristáltica.
- La columna de adsorción.
- Una válvula de toma de muestras.
- Un depósito de salida.

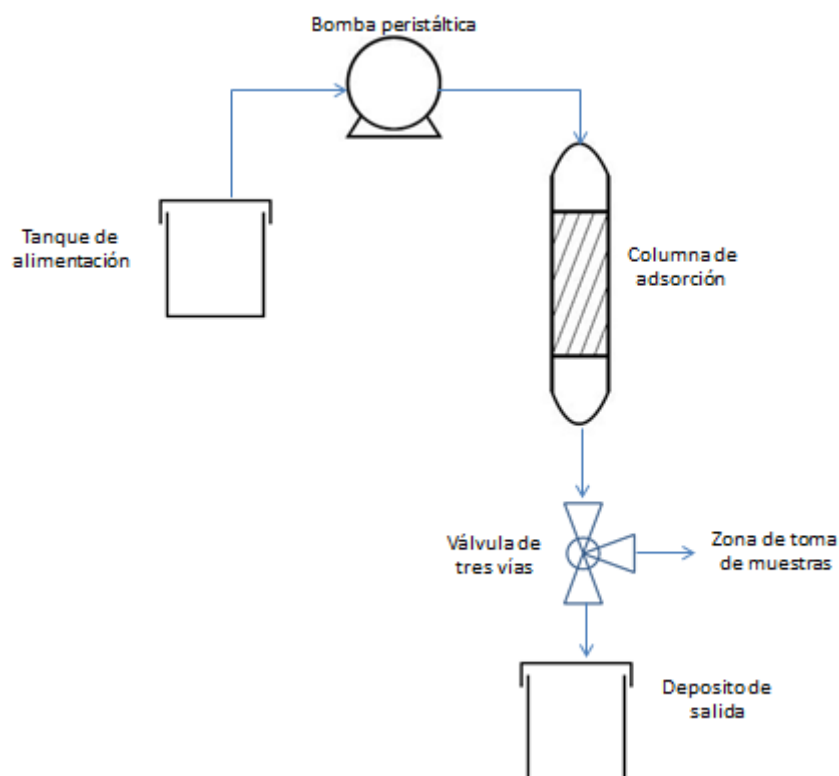


Figura 6.2. Diagrama de flujo de la instalación

6.1.2.1. COLUMNA DE ADSORCIÓN

Se trata de un tubo de vidrio de 1,1 cm de diámetro, 68 cm de altura total, en el que pueden introducirse distintas cantidades de alúmina (altura de lecho), Figura 6.3.

Para evitar que el agua arrastre la alúmina se coloca una placa porosa en la base de la columna.



Figura 6.3. Columna de adsorción

6.1.2.2. BOMBA PERISTÁLTICA

Se trata de una bomba de serie “V” que se encarga del movimiento de la disolución a través de la columna. Todos los parámetros de funcionamiento y control se realizan mediante un potenciómetro y una pantalla led. La bomba incorpora un interruptor digital “On/Off” para asegurar la actividad de dosificación.

La capacidad de dosificación de la bomba se determina por el número de impulsos. La regulación del número de impulsos se impone en un valor de 0 a 100%, si bien la relación es lineal solo para valores comprendidos entre el 30% y el 100%.



Figura 6.4. Bomba peristáltica

6.1.2.3. TOMA DE MUESTRAS

Para facilitar la toma de muestras se encuentra instalada, al final de la instalación, una llave de tres pasos.



Figura 6.5. Llave de 3 vías

6.2. MÉTODOS ANALÍTICOS

6.2.1. MEDIDA DEL pH

En el estudio es necesario el control del pH, ya que es un parámetro que permite conocer la concentración de iones hidronio presentes en el agua.

Para la medida del pH se utiliza el método electrométrico 4500-H+ (APHA et al., 1997).

Se emplea un medidor de pH de la marca Methrom, en concreto el valorador 716 DMS Titrimo, el cual está compuesto por un potenciómetro, un electrodo de referencia, un electrodo de vidrio y un dispositivo encargado de la temperatura durante la medida [28].



Figura 6.5. Medidor de pH

6.2.2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FLUORURO

Utilizando la cromatografía iónica se puede determinar aniones, cationes, hidratos de carbono y sustancias polares en muestras sólidas, líquidas o gaseosas.

El dispositivo utilizado ha sido un cromatógrafo iónico Methrom 882 Compact IC plus.

Este equipo posee un elevado rango de medida y un bajo valor de límite de detección, permitiendo obtener datos con mayor exactitud de la concentración de fluoruro en volúmenes de agua que van de un micro-litro a medio litro [29].

A continuación se presenta el cromatógrafo a utilizar y sus partes.

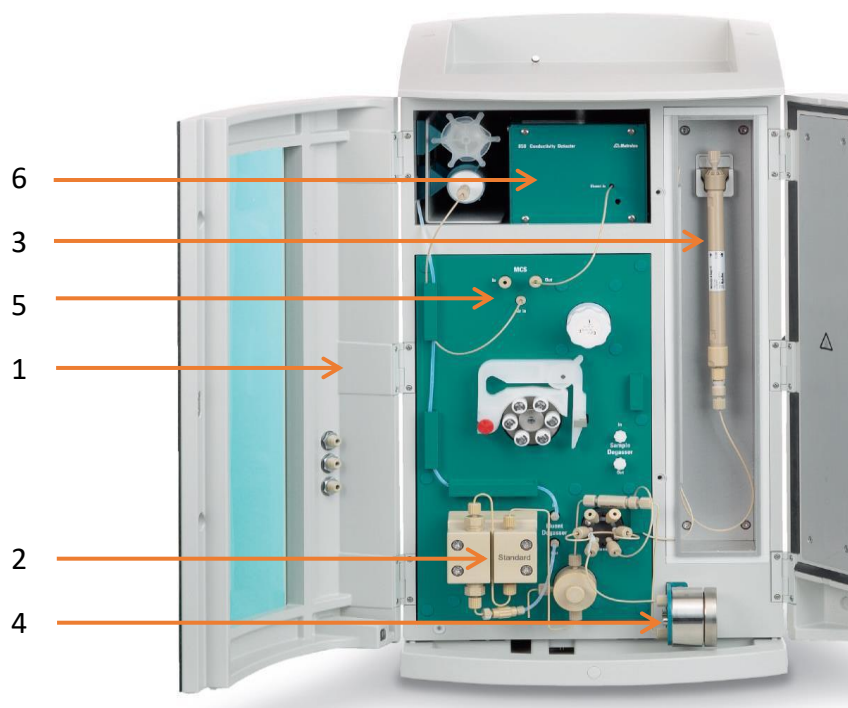


Figura 6.7. Cromatógrafo iónico

1. Caja:

Todos los componentes están dispuestos de forma que tengan un fácil acceso. Los tubos por los que circulan muestras y eluyentes están exentos de metales. La puerta transparente permite el control visual durante los análisis.

2. Transporte del eluyente:

La bomba es el elemento central. Todos los instrumentos están equipados con válvula de purga, filtración en línea y atenuador de pulsaciones.

3. Separación:

La columna de separación analítica es el componente decisivo de cada aplicación. Se pueden seleccionar columnas de diferentes materiales y con distinta selectividad y capacidad y distintas dimensiones.

4. Temperatura.

El compartimento de columnas esta térmicamente aislado y protegido contra influencias externas.

5. Supresión.

Existen dos tipos; secuencial o química, los cuales permiten análisis muy sensibles debido a un ruido de fondo mínimo.

6. Detección.

La conductividad es el método de detección que se utiliza con más frecuencia en la cromatografía iónica. El detector transmite la señal analítica al software directamente y sin interferencias.

6.3. PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS

A continuación se indican los productos que se utilizaron en el proceso de preparación de agua sintética, acidificación del agua y activación de la alúmina.

Reactivo	Nomenclatura	Pureza	Marca
Fluoruro de Sodio	NaF	99%	Merck
Hidróxido de Sodio	NaOH	98%	Panreac
Ácido Sulfúrico	H_2SO_4	95-98%	Panreac
Alúmina	Al_2O_3	-	Merck

Tabla 6.1. Relación de reactivos utilizados en este proyecto.

6.3.1. FLUORURO DE SODIO

El fluoruro sódico utilizado en este estudio es de la marca Merck y presenta una pureza del 99% [30], [31].

6.3.2. HIDRÓXIDO DE SODIO

Este compuesto es de la marca Panreac con una pureza del 98% y presenta un pH por encima de 7 [32], [33].

6.3.3. ÁCIDO SULFÚRICO

En este estudio se utilizó ácido sulfúrico de la marca Panreac con una pureza del 98%, y posee un pH inferior a 7 [34], [35], [36].

6.3.4. ALÚMINA

En este trabajo de fin de grado el tipo de alúmina utilizada fue óxido de aluminio 90 activa, de la casa comercial Merck.

A la vista se trata de un polvo blanco de tamaño de partícula inferior a 200 micrómetros [37].

6.4. DISOLUCIONES UTILIZADAS

6.4.1. PATRÓN DE FLUORURO

Durante la realización de los experimentos se han utilizado diferentes disoluciones sintéticas. Para ello se requiere preparar un patrón de fluoruro 1000 mg F^-/L .

Para preparar el patrón de fluoruro se pesarán 2,21 g de fluoruro de sodio y se disolvieron en agua ultra pura. Esta disolución se añade en un matraz aforado y se enrasa hasta el volumen de un litro.

Para comprobar que se ha conseguido el patrón deseado se tomó una muestra del mismo y se analizó en el cromatógrafo iónico.

6.4.2. MUESTRA SINTÉTICA

Para la preparación de las aguas sintéticas se añadieron distintas cantidades de la disolución patrón de fluoruro de 1000 mg/L, a un agua ultra pura hasta obtener la concentración de fluoruro deseada.

El agua ultra pura se obtuvo del purificador de agua mili-Q, Q-Pod de la casa comercial Millipore.



Figura 6.9. Equipo Purificador de agua Milli -Q

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el estudio de las distintas variables que pueden afectar al proceso de adsorción de fluoruro presente en el agua, mediante alúmina activa se han llevado a cabo dos tipos de experimentos:

- En discontinuo, para obtener los datos de equilibrio, y la influencia de la reactivación de la alúmina, tal y como se indicará en el Apartado 7.1.
- En continuo, para analizar el comportamiento de un lecho de adsorción y obtener las curvas y tiempos de ruptura, y de operación. Así como analizar la influencia de la utilización de alúmina reactivada, tal y como se indica en el Apartado 7.2.

7.1. ESTUDIO EN DISCONTINUO

Para el estudio de la adsorción de fluoruro por alúmina, en discontinuo, se realizaron tres series de experimentos correspondientes a 2, 4 y 8 g de alúmina/L, a temperatura ambiente (20-21 °C). En cada una de las series se utilizaron seis concentraciones iniciales de fluoruro: 2; 5; 10; 15; 20; 25 mg/L. Todos los experimentos se hicieron, simultáneamente, por duplicado.

Para analizar la variación del proceso de adsorción con el tiempo se tomaron muestras cada 30 minutos midiéndose el pH y la concentración de fluoruro residual. Los resultados experimentales, para cada una de las muestras de los diferentes experimentos, se presentan, junto con los valores medios calculados, en el Anexo 1: DATOS DE OPERACIÓN EN DISCONTINUO, Tablas: D-2-2-1-a, hasta la Tabla, D-8-25-3-m.

A partir de los valores medios obtenidos se estudió:

- El análisis a evolución del pH
- El análisis de la evolución del % de adsorción con el tiempo.
- La aplicación de los modelos de equilibrio: Freundlich y Langmuir.
- El estudio cinético del proceso de adsorción.
- La influencia de la regeneración de la alúmina sobre la capacidad de adsorción de fluoruro.

7.1.1. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL pH

En las figuras 7.1 a 7.3 se muestra la variación del pH correspondiente a cada una de las series (2, 4 y 8 g/L de Al_2O_3) y las distintas concentraciones iniciales de fluoruro.

Se ha encontrado que, para una determinada concentración de alúmina activa, el pH de la disolución evoluciona de manera independiente de la concentración inicial de fluoruro. Observándose, además, que se mantiene prácticamente constante, mostrando una tendencia un valor final de pH entre 5 - 7.

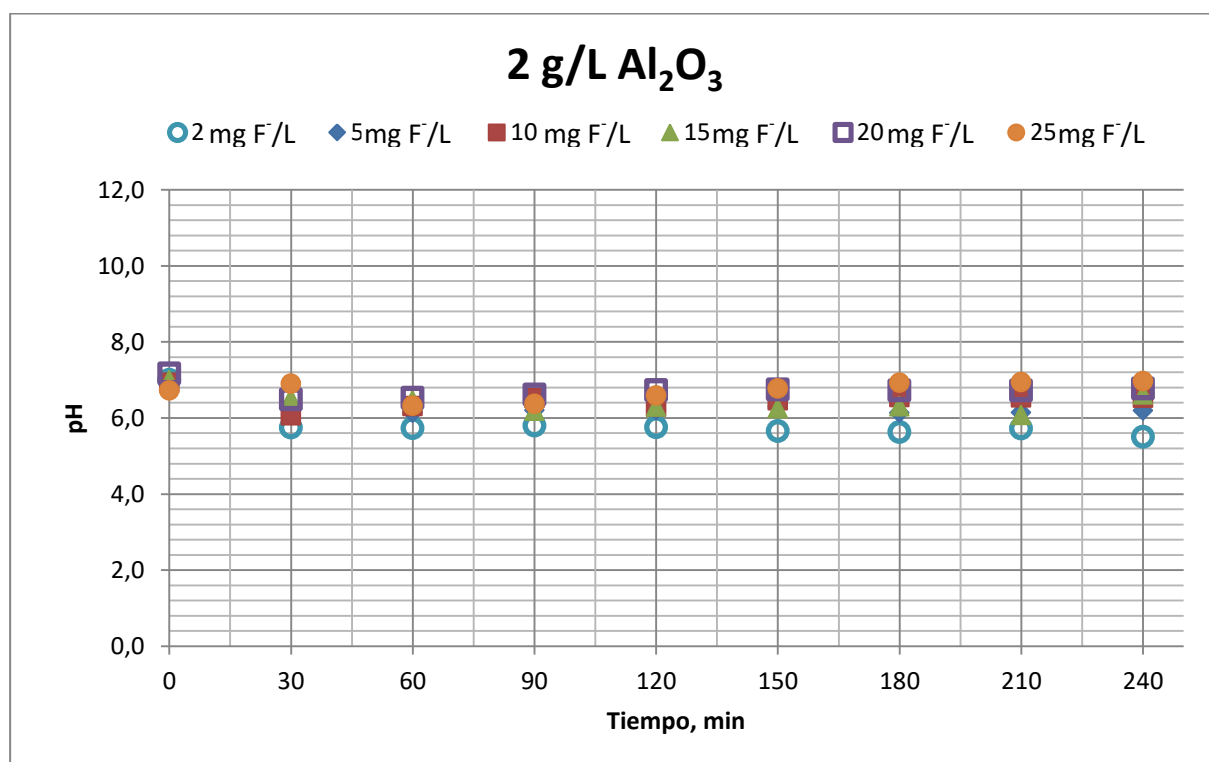


Figura 7.1. Evolución del pH para 2 g/L de Al_2O_3

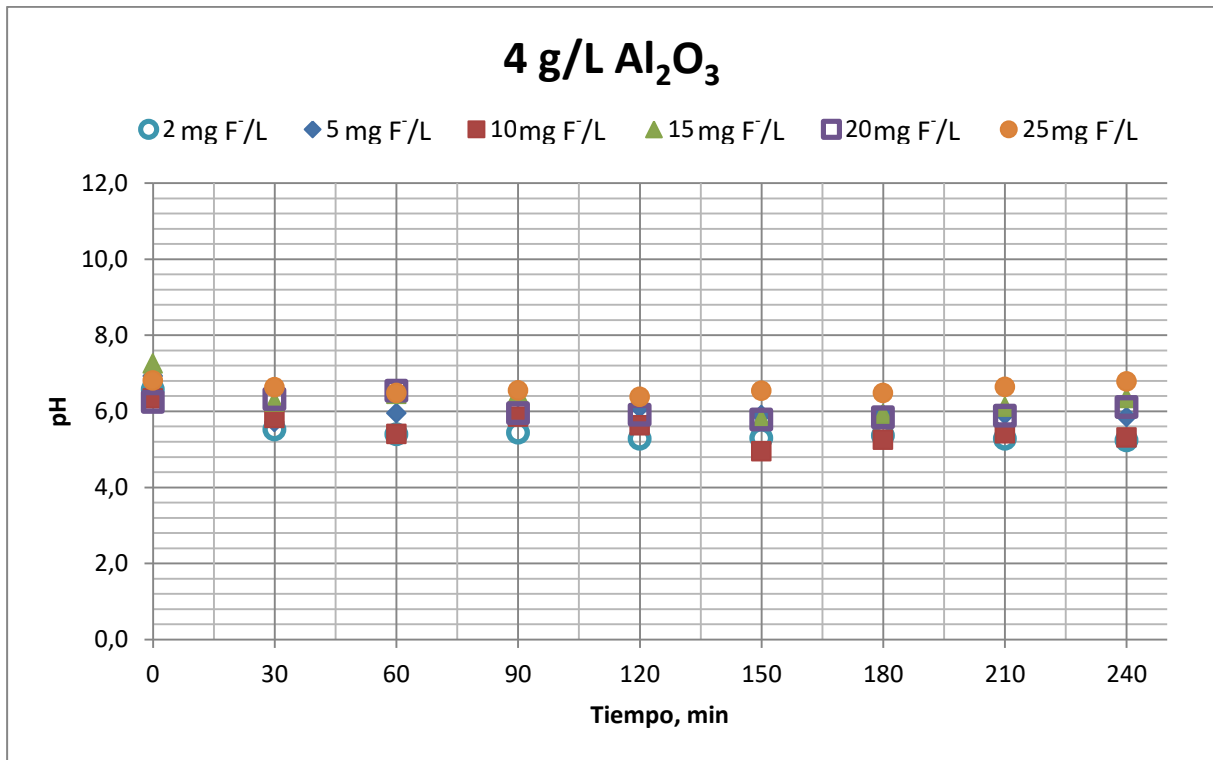


Figura 7.2. Evolución del pH para 4 g/L de Al_2O_3

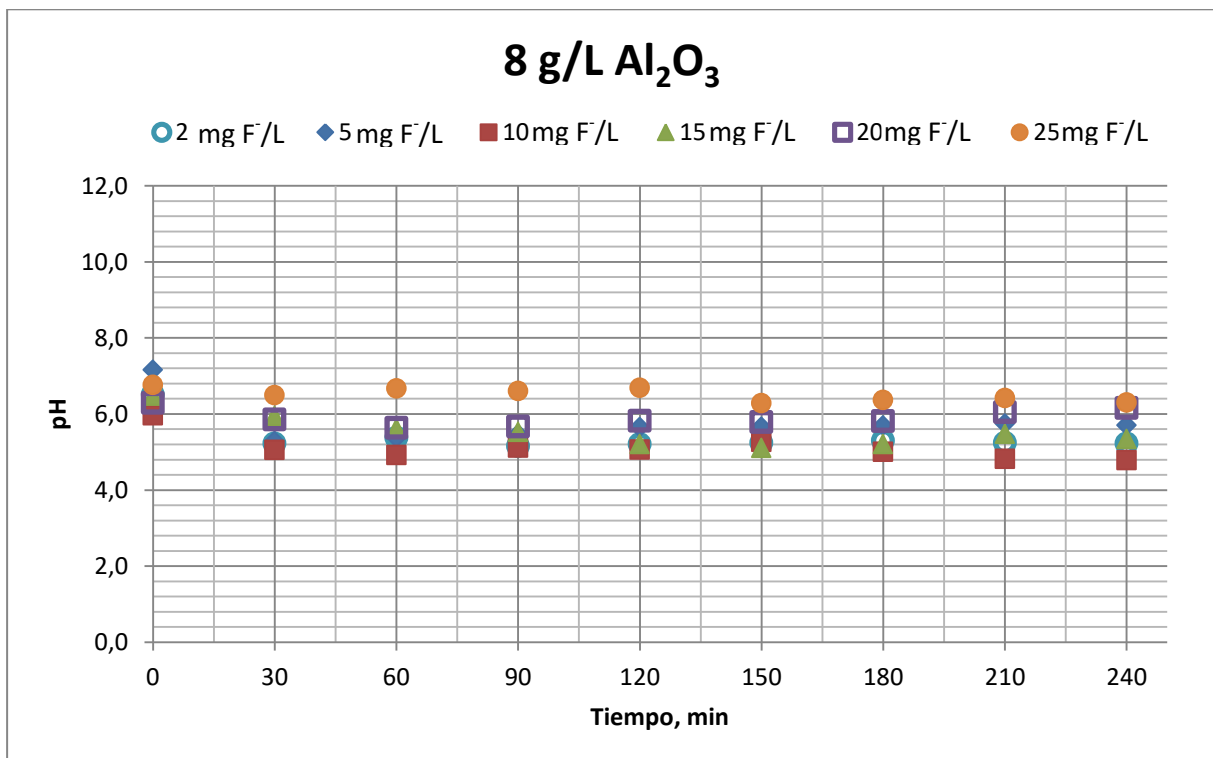


Figura 7.3. Evolución del pH para 8 g/L de Al_2O_3

7.1.2. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL % DE ADSORCIÓN CON EL TIEMPO

Para cada una de las series en estudio y las diferentes concentraciones iniciales de fluoruro, dentro de cada serie, se ha estudiado la evolución del % de adsorción. En las Tablas de valores medios para cada una de las series y concentraciones iniciales de fluoruro, se han calculado los porcentajes de adsorción de fluoruro en función del tiempo de contacto. Los resultados correspondientes se han representado en las Figuras 7.4, 7.5 y 7.6.

Como puede observarse, el porcentaje de adsorción disminuye, dentro de cada serie, al aumentar la concentración inicial de fluoruro. Pero, además, para una misma concentración inicial de fluoruro aumenta con la concentración de alúmina.

Asimismo, se puede observar que para 8 g de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{L}$, y concentraciones menores de 15 mg F^-/L , se alcanza el equilibrio, a partir de los 90 minutos.

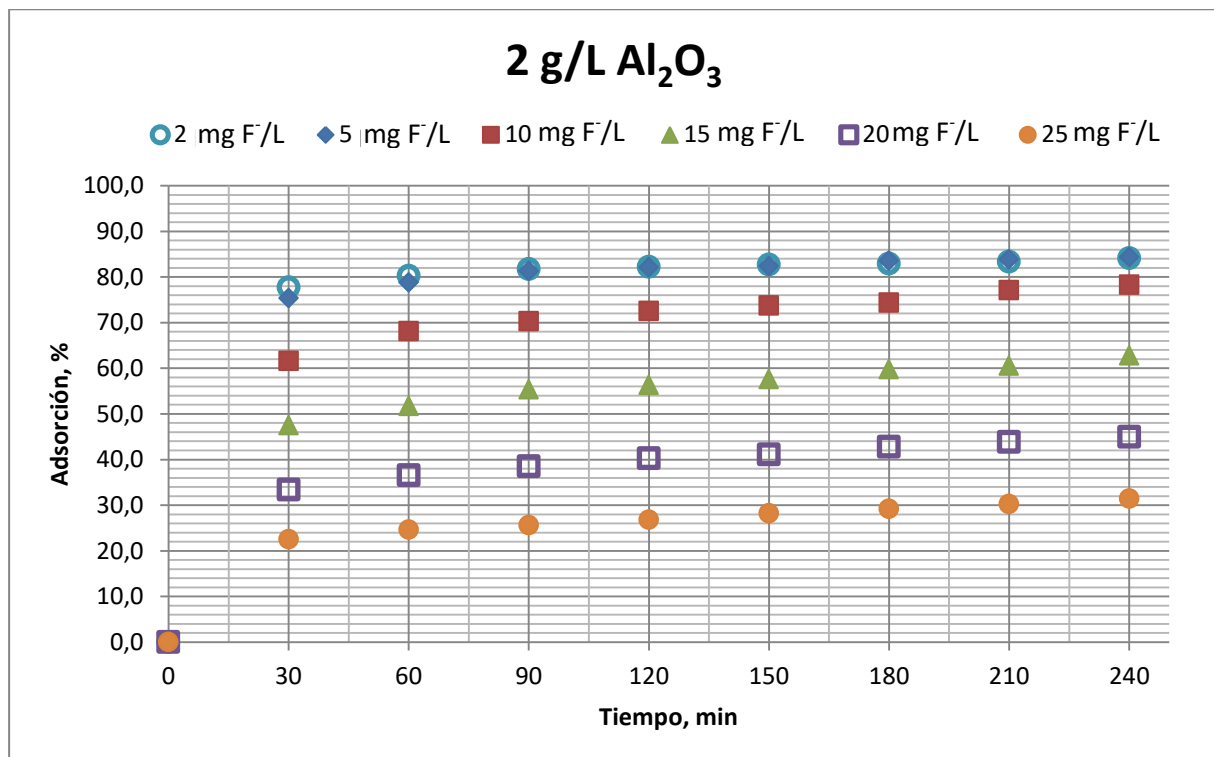


Figura 7.4. Porcentaje de adsorción para 2 g/L Al_2O_3

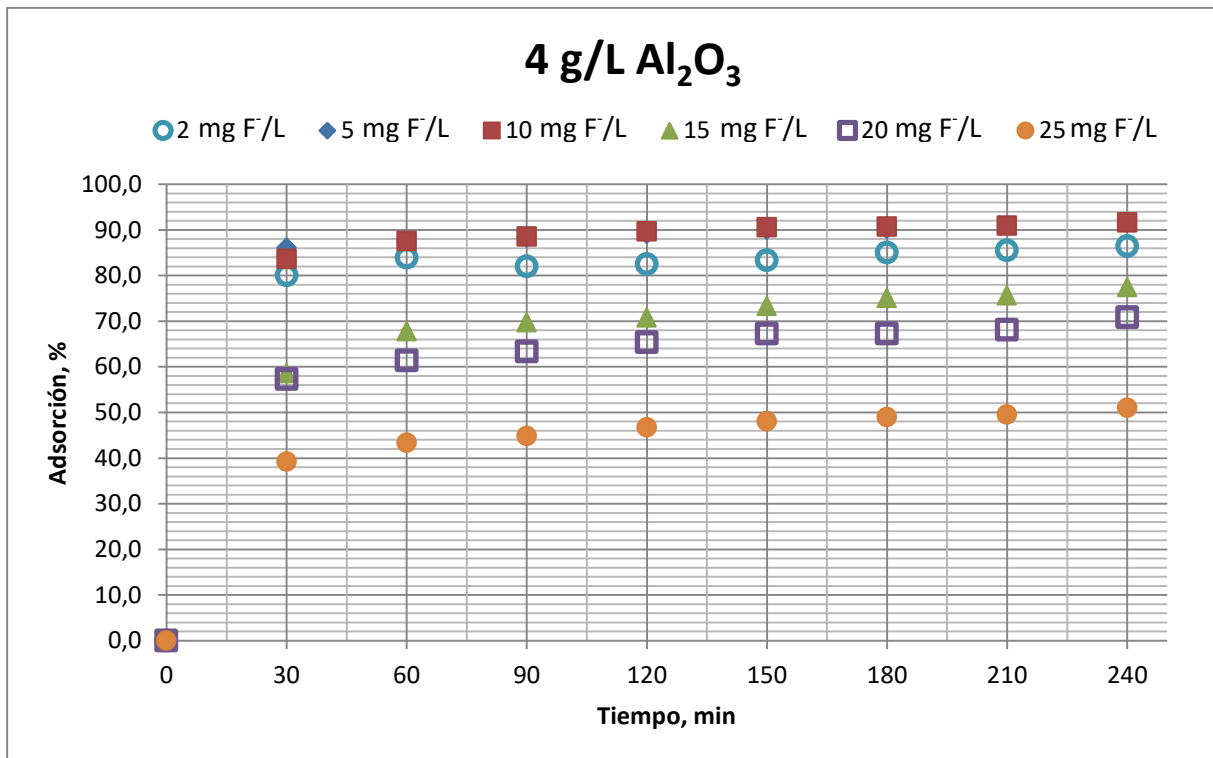


Figura 7.5. Porcentaje de adsorción para 4 g/L Al_2O_3

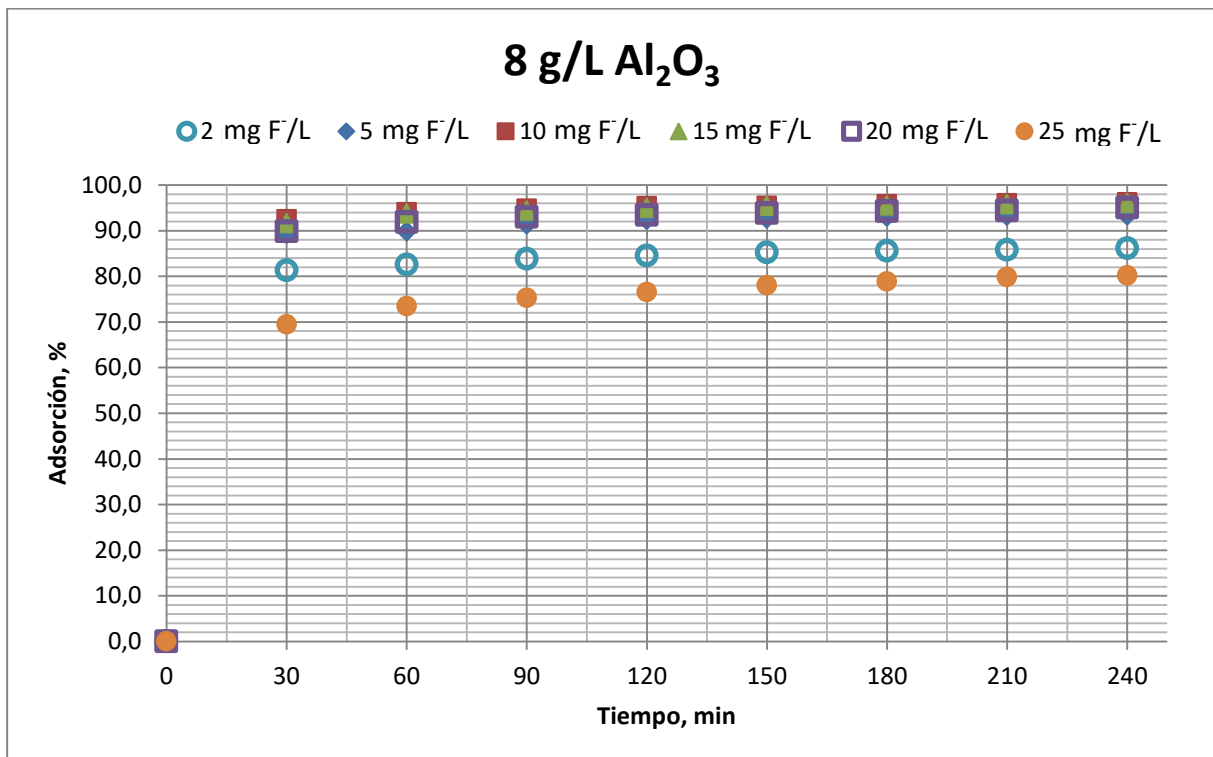


Figura 7.6. Porcentaje de adsorción para 8 g/L Al_2O_3

Esta observación puede verse confirmada, más claramente, en la columna 4 de la Tabla 7.1 obtenida como resumen a partir de las tablas del Anexo 1 citadas anteriormente.

En esta Tabla 7.1, también se muestran los valores finales de la concentración de fluoruro, C_e (mg F^-/L); la cantidad de fluoruro adsorbido (mg totales) y los mg de F^- adsorbido por gramo de alúmina, q_e (mg $\text{F}^-/\text{g Al}_2\text{O}_3$); para cada una de las series y concentraciones de fluoruro iniciales utilizadas.

g/L Al_2O_3	C_0 (mg F^-/L)	C_e (mg F^-/L)	Fluoruro Adsorbido (mg)	Adsorción en equilibrio (%)	q_e (mg $\text{F}^-/\text{g Al}_2\text{O}_3$)
2	1,98	0,34	1,65	84,33	0,75
	4,90	0,88	4,26	83,75	1,94
	8,74	2,06	6,78	81,07	3,08
	15,00	6,07	9,32	62,79	4,24
	20,00	11,97	8,90	44,97	4,05
	23,94	17,85	7,46	34,37	3,39
4	2,06	0,30	1,76	86,05	0,40
	5,19	0,48	4,71	91,26	1,07
	9,78	0,89	8,87	91,82	2,02
	15,12	2,40	12,78	85,29	2,91
	20,00	6,34	14,03	70,87	3,19
	23,78	12,66	12,02	53,44	2,73
8	1,97	0,30	1,67	86,33	0,19
	5,16	0,37	4,77	93,14	0,54
	10,59	0,44	10,09	95,96	1,15
	15,00	0,65	14,26	96,03	1,62
	20,00	1,08	18,82	95,06	2,14
	23,98	5,17	19,04	80,98	2,17

Tabla 7.1. Resultados finales de la 1ª activación de la alúmina

Estos resultados se representan en la Figura 7.7, concentración final de fluoruro en el equilibrio, C_e ; y en la Figura 7.8, los valores de capacidad específica de adsorción en el equilibrio, q_e .

Se puede observar cómo la concentración final de fluoruro, C_e y los valores de q_e disminuyen a medida que aumenta la concentración de alúmina para cualquier concentración de fluoruro inicial.

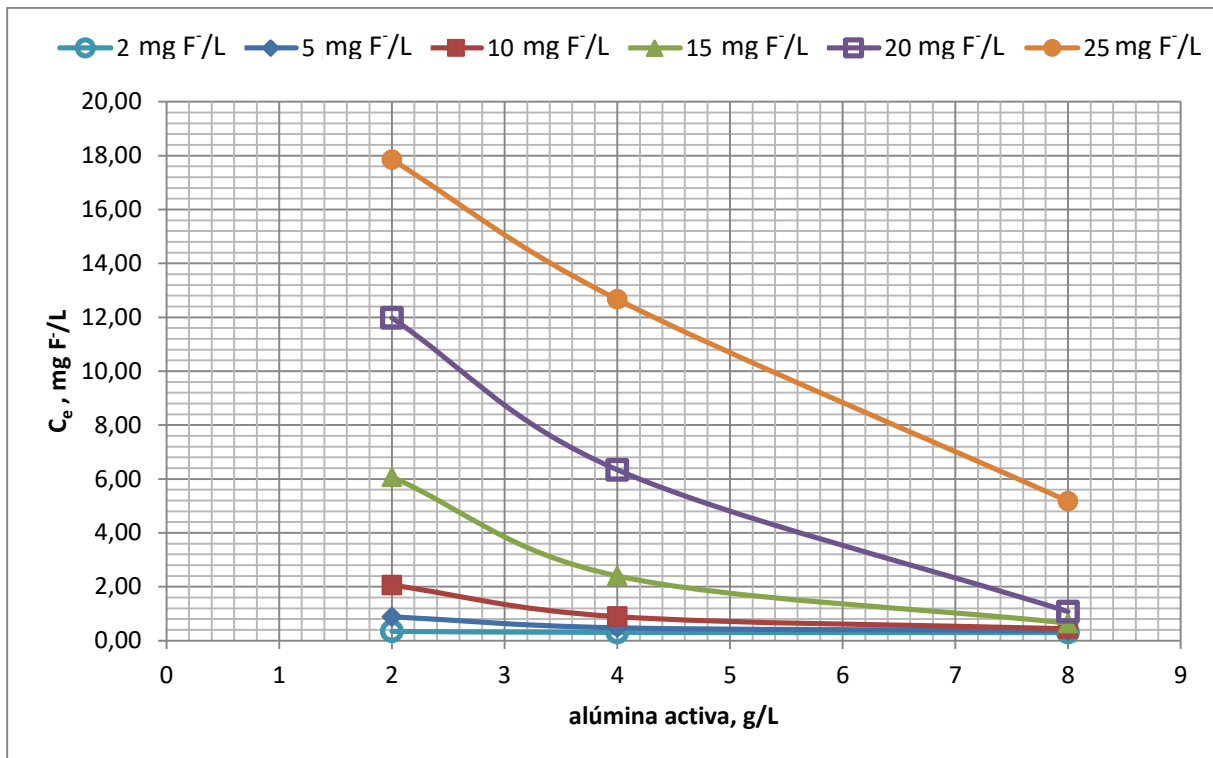


Figura 7.7. Concentración en el equilibrio de fluoruro

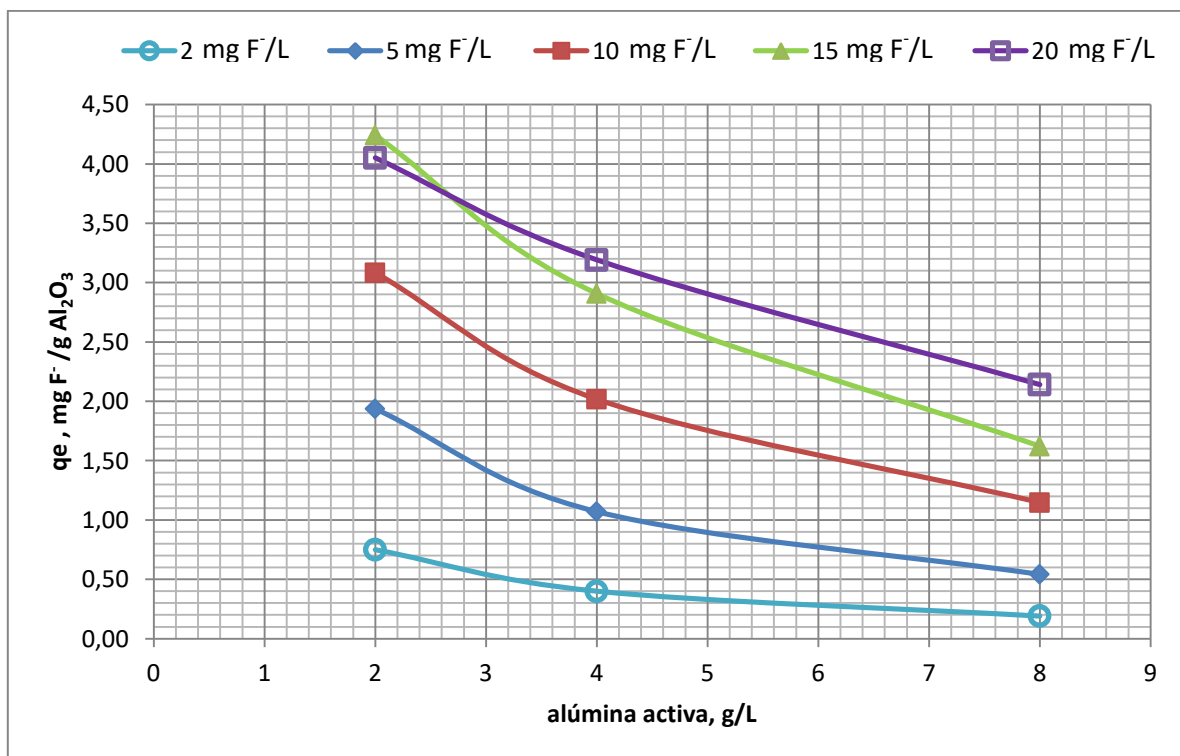


Figura 7.8. Capacidad específica de adsorción.

7.1.3. APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE EQUILIBRIO

Los estudios de equilibrio, para las tres series, se han realizado a temperatura ambiente. Los resultados experimentales recogidos en la Tabla 7.1 se analizaron con los modelos Freundlich y Langmuir, por ser los más frecuentemente utilizados.

7.1.3.1. MODELO DE FREUNDLICH

Como se indicó en el apartado 5.6.2, el modelo es un indicativo de la heterogeneidad de la superficie del adsorbente, que viene dado por la siguiente ecuación linealizada:

$$\log q_e = \log k + \frac{1}{n} * \log C_e$$

Ecuación 7.1. Modelo Freundlich linealizado.

Dónde:

- q_e = Cantidad de fluoruro adsorbido por gramo de adsorbente (mg F⁻/g Al₂O₃).
- K = Capacidad mínima de adsorción (mg/g) basada en la isoterma de Freundlich.
- $1/n$ = Intensidad de adsorción.
- C_e = Concentración de equilibrio (mg F⁻/L).

De acuerdo con este modelo la representación en escala doble logarítmica de q_e (mg F⁻/g de Al₂O₃) frente a C_e (mg F⁻/L), debe ajustarse a una recta de cuya pendiente puede obtenerse “ n ” y de la ordenada en el origen “ K ”.

En la Tabla 7.1, citada anteriormente, se muestran los valores obtenidos experimentalmente de C_e (mg F⁻/L) y q_e (mg F⁻/g de Al₂O₃) para cada una de las series. Del análisis de dichos resultados se llegó a la conclusión de que el modelo de Freundlich solo se ajusta adecuadamente para las concentraciones más bajas de fluoruro (2; 5; 10 mg F⁻/L), representados en la Figura 7.9.

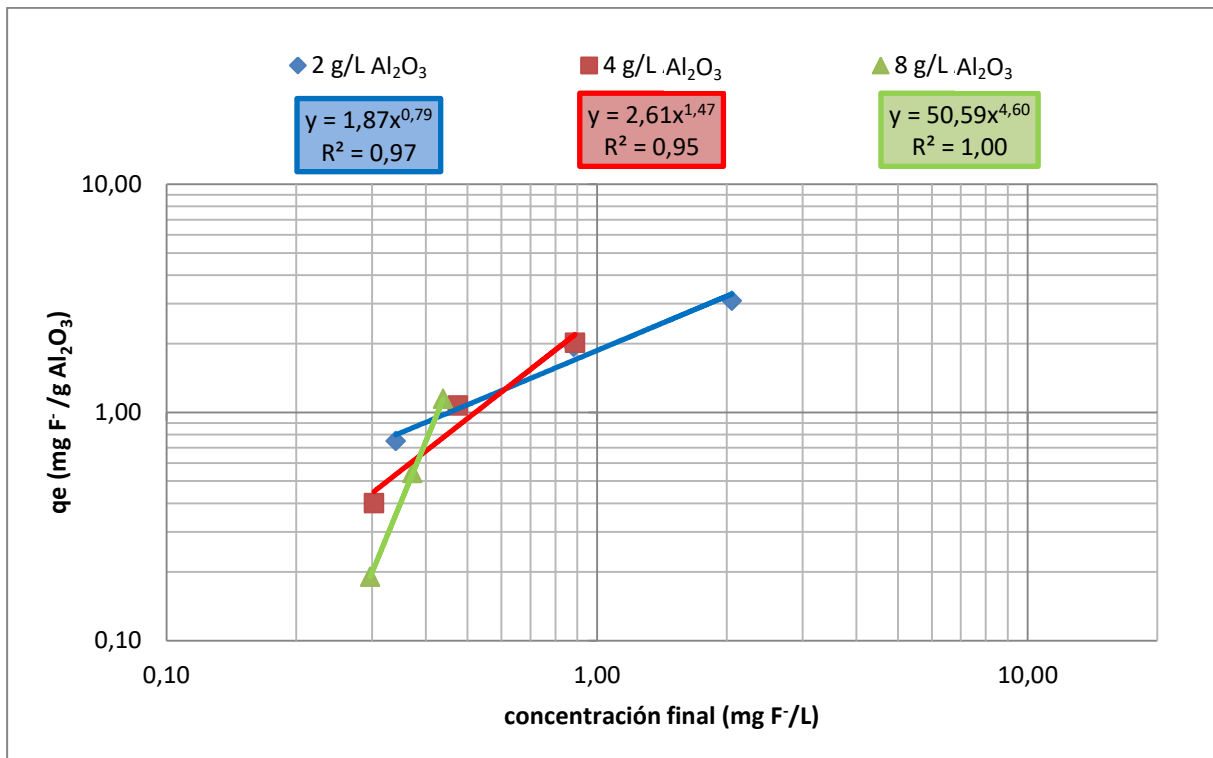


Figura 7.9. Modelo de Freundlich

Como puede observarse los datos se ajustan bastante bien al modelo. Modelo que responde también una ecuación del tipo:

$$q_e = k * C_e^{\frac{1}{n}}$$

Ecuación 7.2. Modelo Freundlich.

Obteniéndose las constantes del modelo para cada serie, expuestas en la Tabla 7.2.

g/L Al ₂ O ₃	K (mg F ⁻ /g Al ₂ O ₃)	n
2	1,87	1,27
4	2,61	0,68
8	50,59	0,22

Tabla 7.2. Constantes del modelo Freundlich

7.1.3.2. MODELO DE LANGMUIR

Como se indicó en el apartado 5.6.2, este modelo se suele aplicar cuando se admite que la adsorción es monocapa, con un número finito de sitios de adsorción idénticos, y viene representado por la ecuación:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_0} + \frac{1}{q_0 * b} * \frac{1}{C_e}$$

Ecuación 7.3. Modelo Langmuir.

Dónde:

- q_e = Cantidad de fluoruro adsorbido por gramo de adsorbente (mg F⁻/g Al₂O₃).
- q_0 = Máxima cantidad de fluoruro adsorbido por unidad de peso de alúmina activa (mg F⁻/g Al₂O₃).
- C_e = Concentración de equilibrio (mg F⁻/L).
- b = Constante isoterma de Langmuir.

Lo que nos indica que la representación de $1/q_e$ frente a $1/C_e$ se ajustaría una línea recta de cuya ordenada en el origen se puede obtener “ q_0 ” y de la pendiente “ b ”.

Del análisis de los resultados mostrados en la Tabla 7.1 se llegó a la conclusión de que el modelo de Langmuir solo se ajusta adecuadamente para las concentraciones de fluoruro entre 5 y 20 mg F⁻/L, representados en la Figura 7.10.

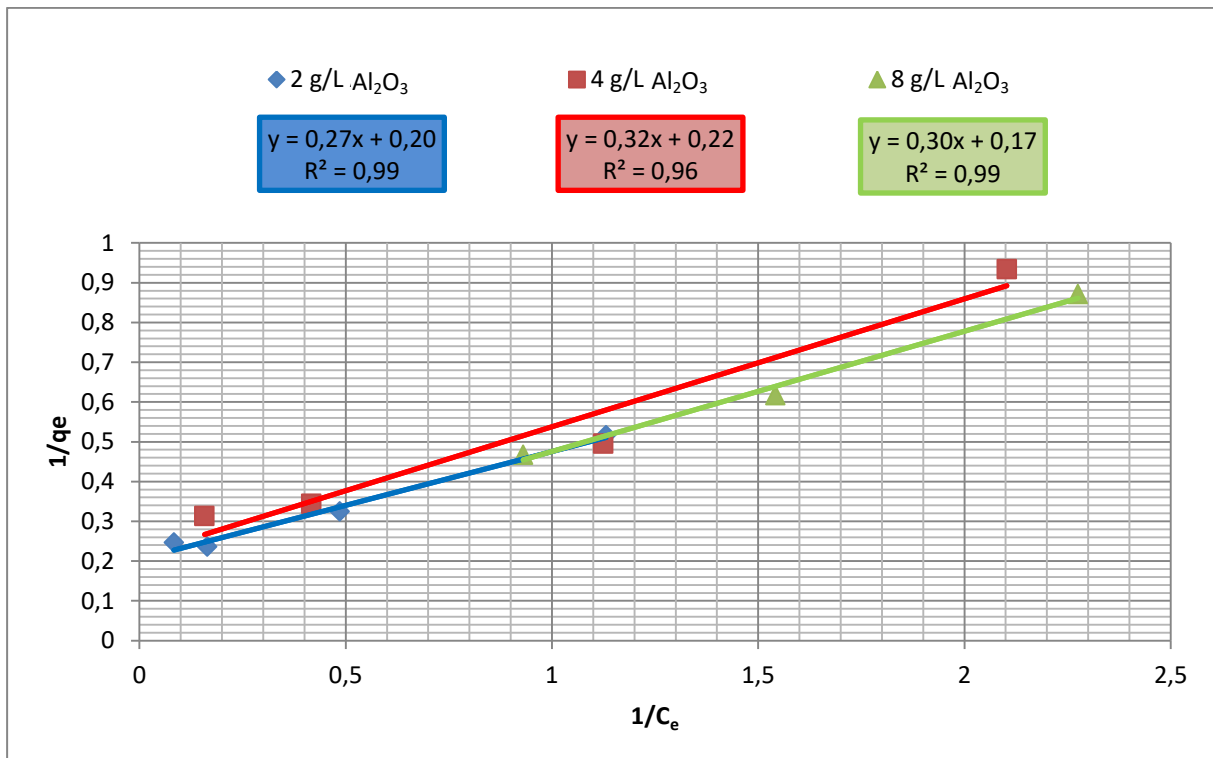


Figura 7.10. Modelo de Langmuir

Como puede observarse los datos se ajustan bastante bien al modelo. Obteniéndose las constantes del modelo para cada serie, expuestos en la Tabla 7.3.

g/L Al ₂ O ₃	q ₀ (mg F ⁻ /g Al ₂ O ₃)	b
2	4,89	0,76
4	4,63	0,67
8	5,77	0,57

Tabla 7.3. Constantes del modelo Langmuir

7.1.4. ESTUDIO CINÉTICO DEL PROCESO DE ADSORCIÓN

Para el estudio de la cinética del proceso de adsorción se ha considerado un modelo de pseudo segundo orden. La ecuación correspondiente es:

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 * (q_e - q_t)^2$$

Ecuación 7.4. Cinética de pseudo segundo orden.

Integrando queda:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 * q_e^2} + \frac{1}{q_e} * t$$

Ecuación 7.5. Cinética de pseudo segundo orden integrada.

Dónde:

- q_e = Cantidad de fluoruro adsorbido por gramo de adsorbente (mg F⁻/g Al₂O₃).
- q_t = Cantidad de fluoruro adsorbido por unidad de masa de alúmina (mg F⁻/g Al₂O₃).
- K_2 = Constante cinética (g Al₂O₃ / mg F⁻*min).

Según la ecuación 7.5, al representar t/q_t frente a t se debe obtener una línea recta cuya pendiente permite calcular q_e y la ordenada en el origen K_2 .

En las Figuras 7.11, 7.12 y 7.13, se representan los datos obtenidos. Los valores de los coeficientes de correlación, para todos los experimentos, son muy próximos a la unidad, por lo que sugiere que el proceso de adsorción sigue una cinética de pseudo segundo orden.

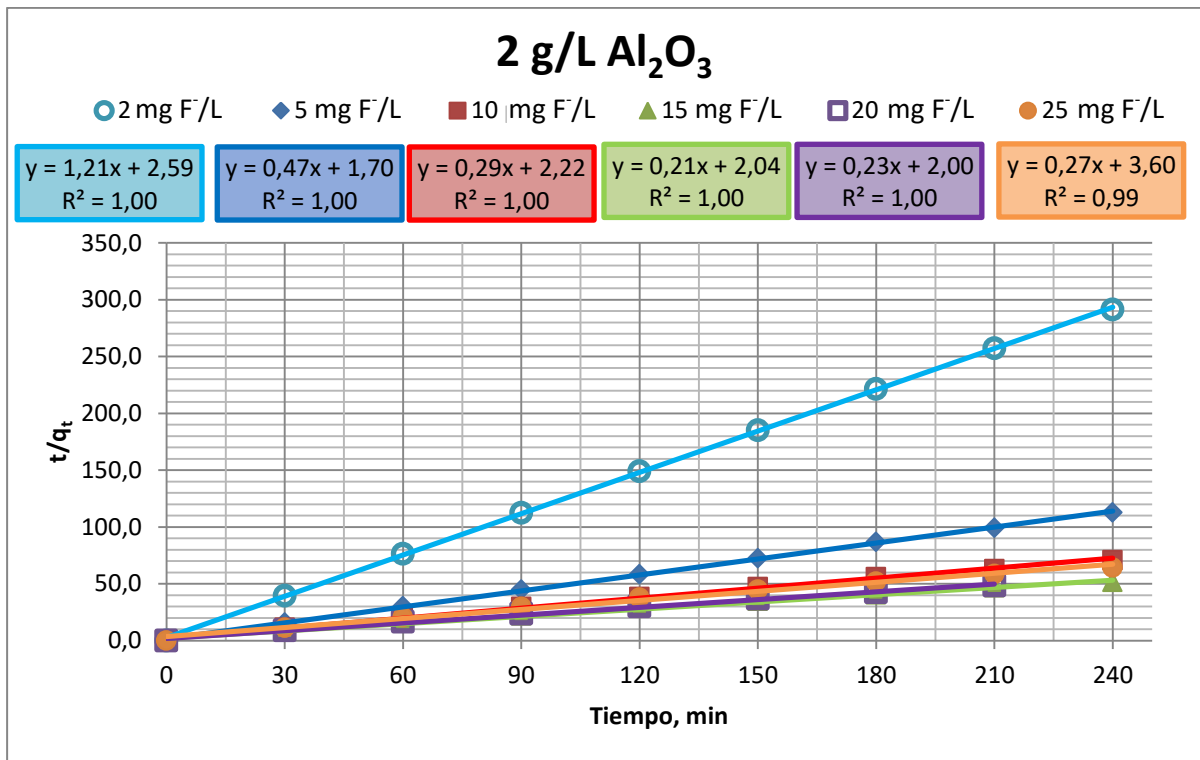


Figura 7.11. Cinética de pseudo segundo orden para 2 g/L Al_2O_3

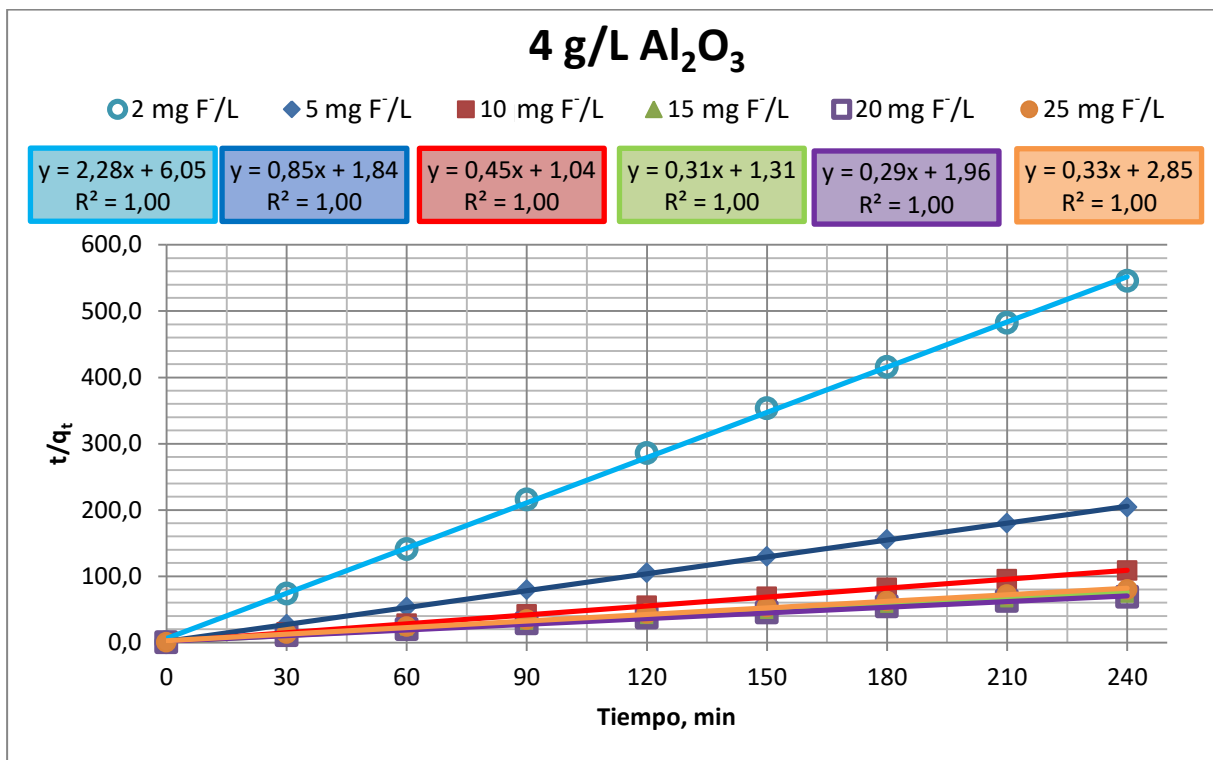


Figura 7.12. Cinética de pseudo segundo orden para 4 g/L Al_2O_3

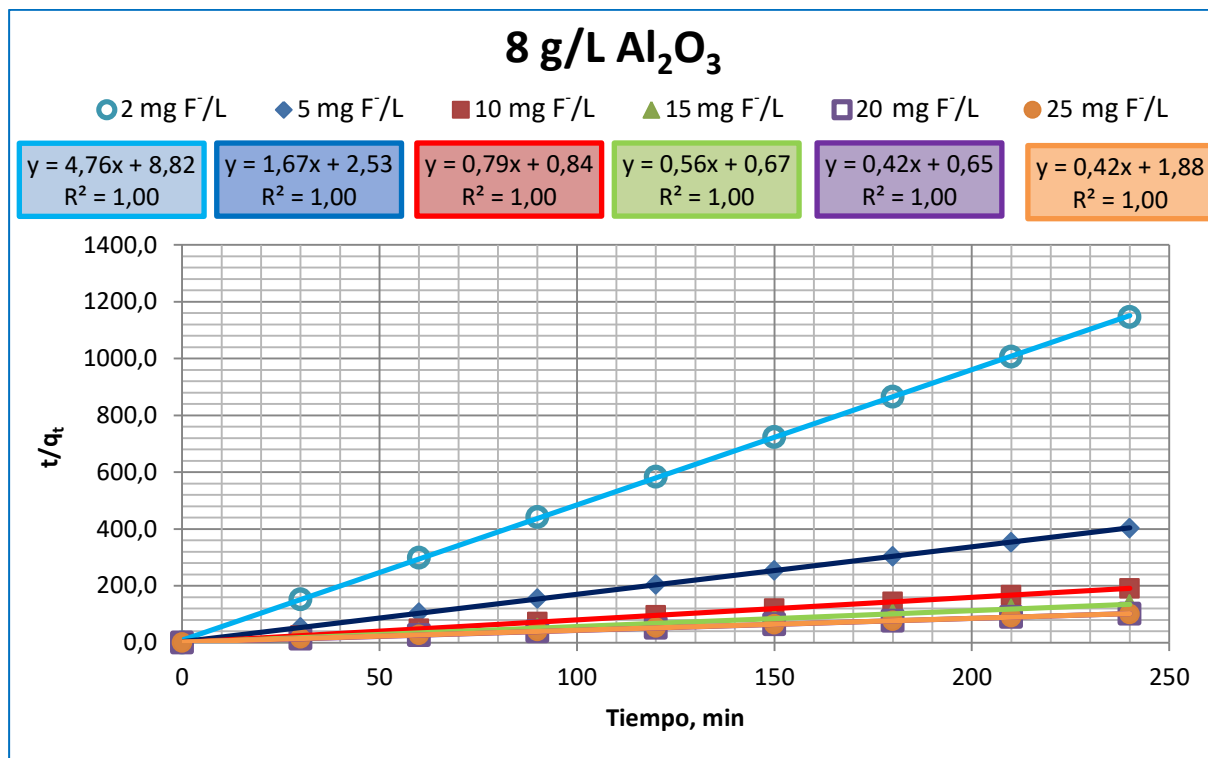


Figura 7.13. Cinética de pseudo segundo orden para 8 g/L Al₂O₃

Lo que ha permitido calcular los siguientes valores para las constantes cinéticas de adsorción, que se muestran en la Tabla 7.4.

g/L Al ₂ O ₃	C ₀ (mg F/L)	q _e (mg F/g Al ₂ O ₃)	K ₂ (g Al ₂ O ₃ / mg F*min)
2	1,98	0,82	0,57
	4,90	2,14	0,13
	8,74	3,42	0,04
	15,00	4,69	0,02
	20,00	4,52	0,02
	23,94	3,77	0,02
4	2,06	0,44	0,86
	5,19	1,18	0,39
	9,78	2,23	0,19
	15,12	3,22	0,07
	20,00	3,50	0,04
	23,78	3,03	0,04
8	1,97	0,21	2,57
	5,16	0,60	1,10
	10,59	1,26	0,75
	15,00	1,79	0,47
	20,00	2,36	0,28
	23,98	2,40	0,09

Tabla 7.4. Constantes cinéticas de pseudo segundo orden

7.1.5. INFLUENCIA DE LA REACTIVACIÓN DE LA ALUMINA

Para el estudio de la influencia de la reactivación de la alúmina utilizada se procedió a realizar una segunda y tercera activación siguiendo los pasos descritos en el apartado 6.1.1.2. A continuación se realizaron los mismos experimentos, es decir tres series (2; 4; 8 g Al_2O_3 /L) cada una con concentraciones de fluoruro de 2; 5; 10; 15; 20; 25 mg/L.

Estos datos se muestran en el Anexo 1, en las Tablas D-2-2-2-a hasta D-8-25-3-m. Se midió el pH y la concentración de fluoruro a intervalos de tiempo determinados (10 ó 30 min), a partir de los cuales se calculó la masa de fluoruro adsorbido y el porcentaje de adsorción, tal como se muestran en las Tablas 7.5 y 7.6, respectivamente y se representan en las Figuras 7.14 y 7.15.

Se observa que, para cualquier concentración de alúmina y una determinada concentración inicial de fluoruro, al aumentar el número de activaciones se reduce tanto la masa de fluoruro adsorbido como el porcentaje de adsorción correspondiente.

g/L Al_2O_3	Concentración inicial (mg F ⁻ /L)	Fluoruro Adsorbido (mg)		
		1º activación	2º activación	3º activación
2	2	1,65	1,38	1,04
	5	4,26	3,78	3,07
	10	6,78	5,93	4,21
	15	9,32	6,88	5,75
	20	8,90	7,73	6,27
	25	7,46	6,21	5,97
4	2	1,76	1,38	0,89
	5	4,71	3,76	3,31
	10	8,87	7,73	6,55
	15	12,78	9,80	7,71
	20	14,03	9,92	8,40
	25	12,02	11,65	9,50
8	2	1,67	1,39	1,18
	5	4,77	4,07	3,39
	10	10,09	6,94	5,93
	15	14,26	10,70	10,40
	20	18,82	14,77	11,06
	25	19,04	15,05	12,47

Tabla 7.5. Fluoruro adsorbido en función del número de activaciones de la alúmina

g/L Al ₂ O ₃	Concentración inicial (mg F ⁻ /L)	Adsorción (%)		
		1º activación	2º activación	3º activación
2	2	84,33	61,16	51,65
	5	83,75	65,49	55,19
	10	81,07	52,64	36,63
	15	62,79	46,37	40,57
	20	44,97	40,45	34,52
	25	34,37	25,14	22,17
4	2	86,05	66,63	45,88
	5	91,26	74,72	66,60
	10	91,82	72,12	61,07
	15	85,29	67,89	57,95
	20	70,87	56,45	49,93
	25	53,44	46,36	35,66
8	2	86,33	53,76	40,71
	5	93,14	74,20	58,12
	10	95,96	79,33	69,74
	15	96,03	74,98	72,79
	20	95,06	64,50	61,76
	25	80,98	58,40	56,17

Tabla 7.6. Porcentaje de adsorción de fluoruro en función del número de activaciones de la alúmina

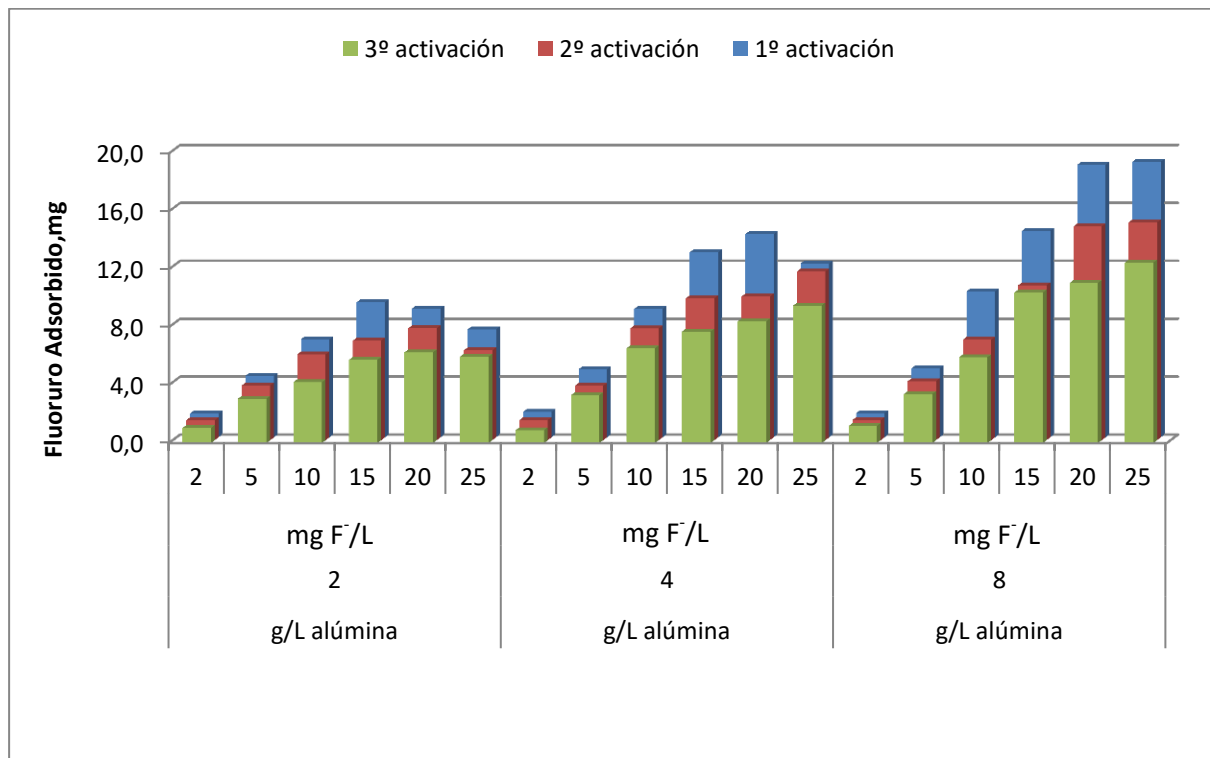


Figura 7.14. Fluoruro adsorbido en función del número de activaciones de la alúmina

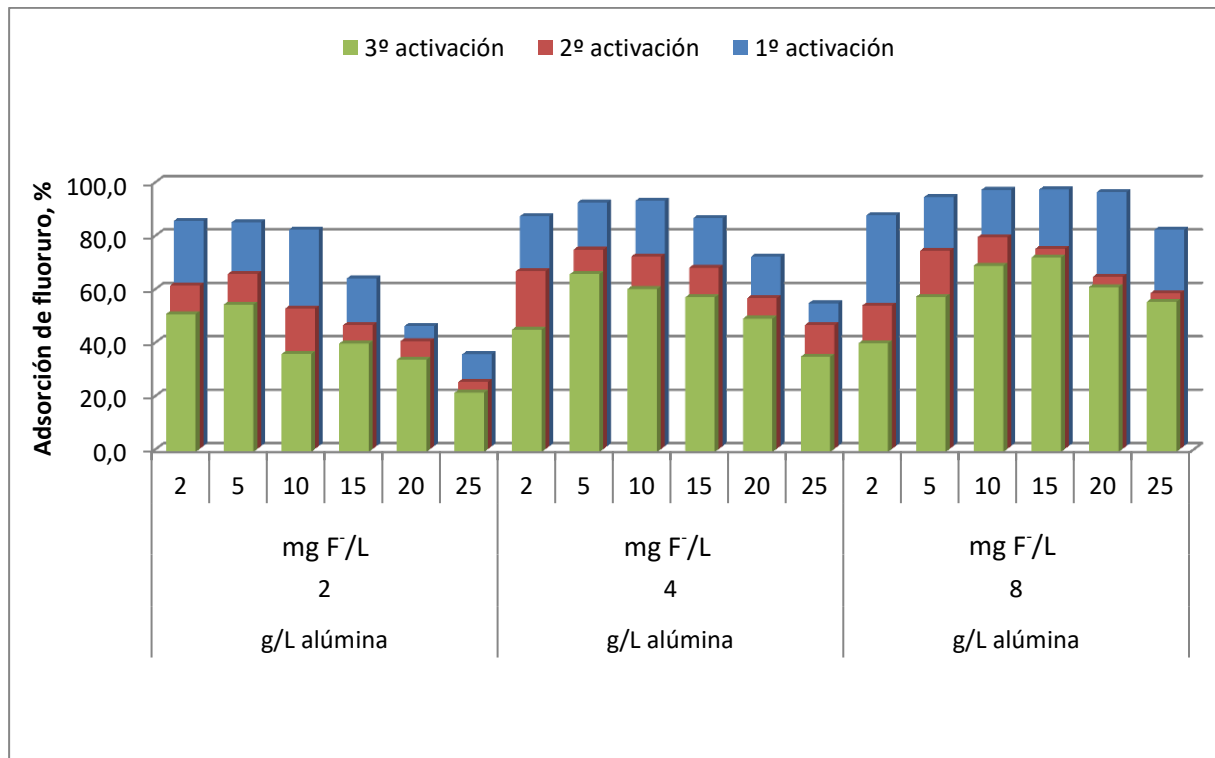


Figura 7.15. Porcentaje de adsorción en función del número de activaciones de la alúmina

7.2. ESTUDIO EN CONTINUO

La instalación utilizada fue descrita en 6.1.2, dentro del apartado Materiales y Métodos. Inicialmente, se realizaron un conjunto de experimentos, a temperatura ambiente; caudal de líquido constante, dentro de cada experimento, en el rango de 0,0145 – 0,0160 L/min; tres alturas de relleno 5,5, 11 y 17 cm (correspondientes a 5, 10 y 15 gramos de alúmina activa, respectivamente), y para cada altura tres concentraciones diferentes de fluoruro, a la entrada de la columna, de 10, 15 y 20 mg/L. Lo que significa un total de 9 experimentos. Esto nos permitió estudiar la influencia de: la altura de lecho y la concentración de entrada. A partir de ellas obtener los tiempos de operación y ver la adaptación de los resultados experimentales a los modelos propuestos para sistemas de este tipo por Bohart-Adams y Thomas (descritos en el apartado 5.6.1). Para cada uno de los experimentos se tomaba una muestra de la alimentación y, a intervalos de tiempo constantes (30 minutos), muestras de la disolución de salida hasta garantizar que la columna estaba saturada. Los resultados experimentales obtenidos se indican en el Anexo 2, en las Tablas C-5-20-1 hasta Tabla C-15-10-1.

A continuación, para analizar la influencia de la regeneración de la alúmina, en el proceso de adsorción de fluoruro, la alúmina utilizada anteriormente se sometió a regeneración, (según el procedimiento descrito en 6.1.1.2, dentro del apartado Materiales y Métodos), y con ella se repitieron un conjunto de experimentos, en las mismas condiciones que los anteriores pero sólo a una concentración de entrada en la columna de 20 mg/L de fluoruro. Este proceso de regeneración y los experimentos se repitieron dos veces (segunda y tercera activación). Para cada uno de los experimentos se tomaba una muestra de la alimentación y, a intervalos de tiempo constantes (30 minutos), muestras de la disolución de salida hasta garantizar que la columna estaba saturada. Los resultados experimentales obtenidos se indican en el Anexo 2, en las Tablas C-5-20-2 hasta C-15-20-3.

7.2.1. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA ALTURA DE RELLENO Y LA CONCENTRACIÓN INICIAL DE FLUORURO.

En las Tablas C-5-20-1 hasta la Tabla C-15-10-1, del Anexo 2, se muestran las concentraciones de fluoruro a la salida de la columna en función del tiempo. Utilizando la ecuación 7.6 se han obtenido los volúmenes de lecho.

$$\text{Volumen de lecho} = \text{Volumen circulado}(\text{m}^3) / \text{Volumen de lecho}(\text{m}^3)$$

Ecuación 7.6. Volumen de lecho.

En las Figuras 7.16, 7.17 y 7.18 se muestran las curvas de ruptura para cada una de las alturas de lecho y concentración de alimentación de fluoruro.

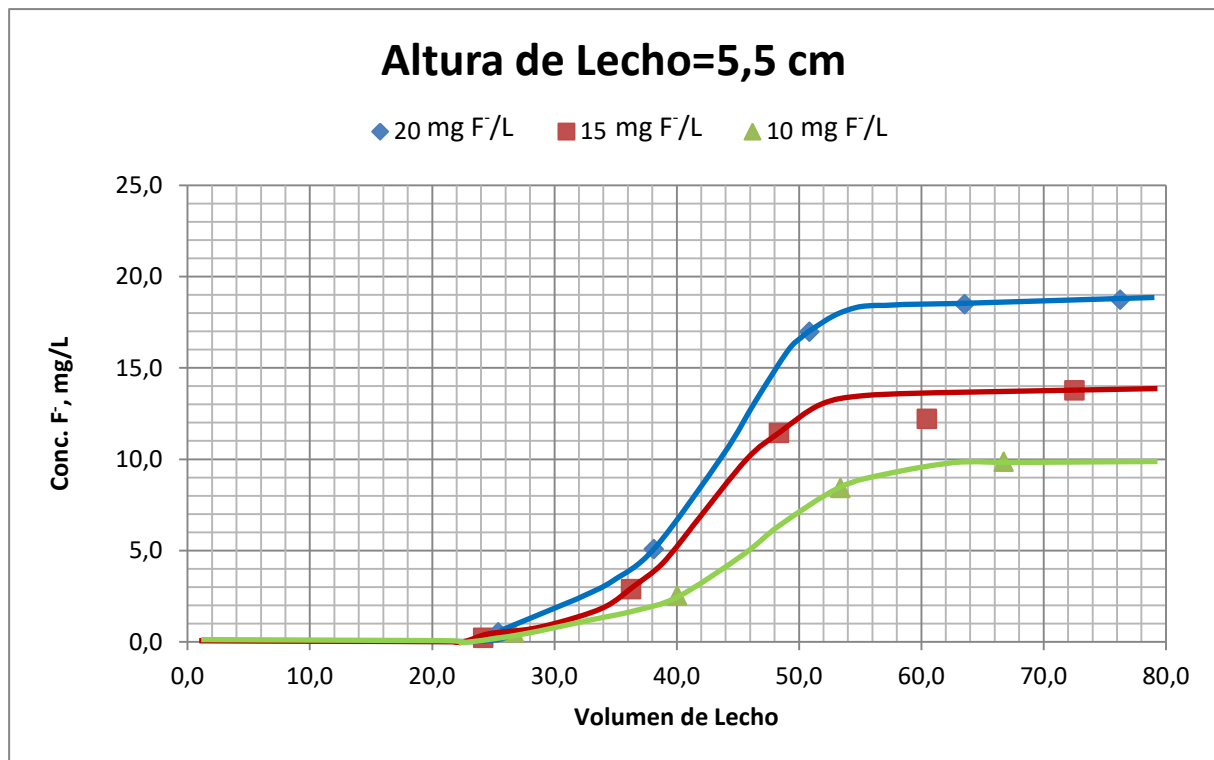


Figura 7.16. Curvas de ruptura a 5,5 cm de altura de lecho

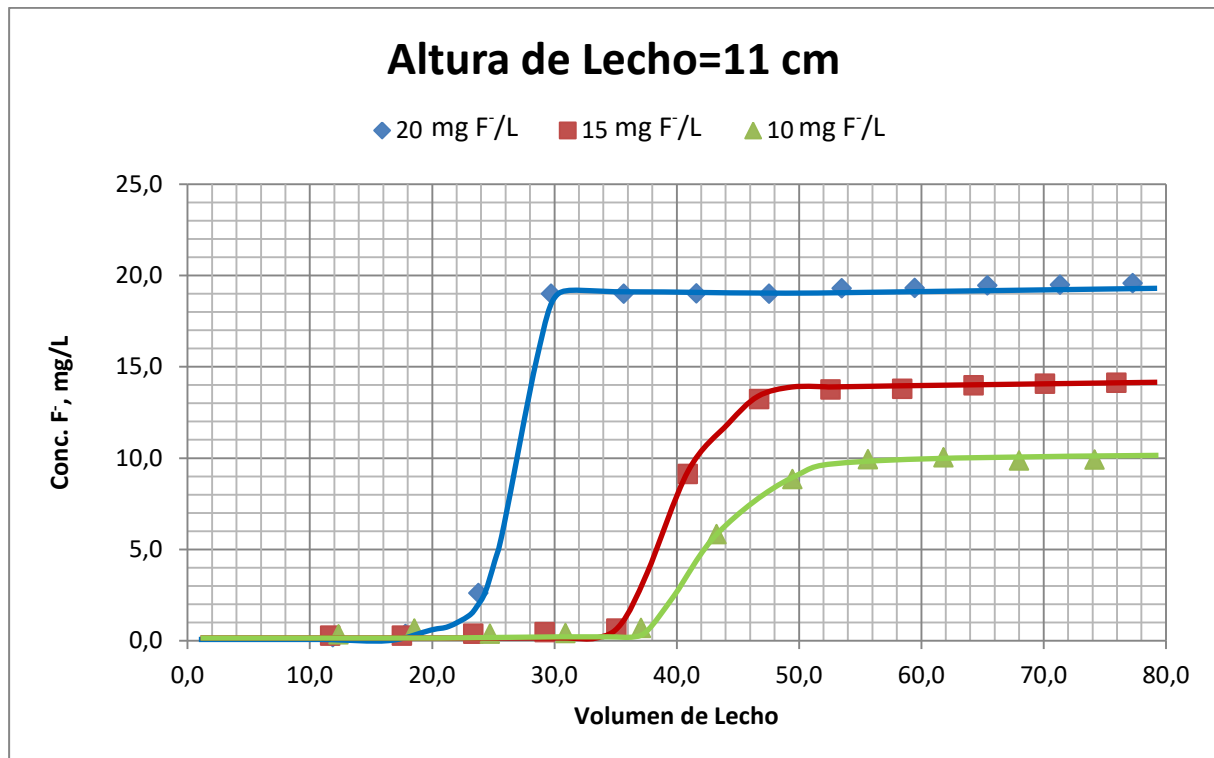


Figura 7.17. Curvas de ruptura a 11 cm de altura de lecho

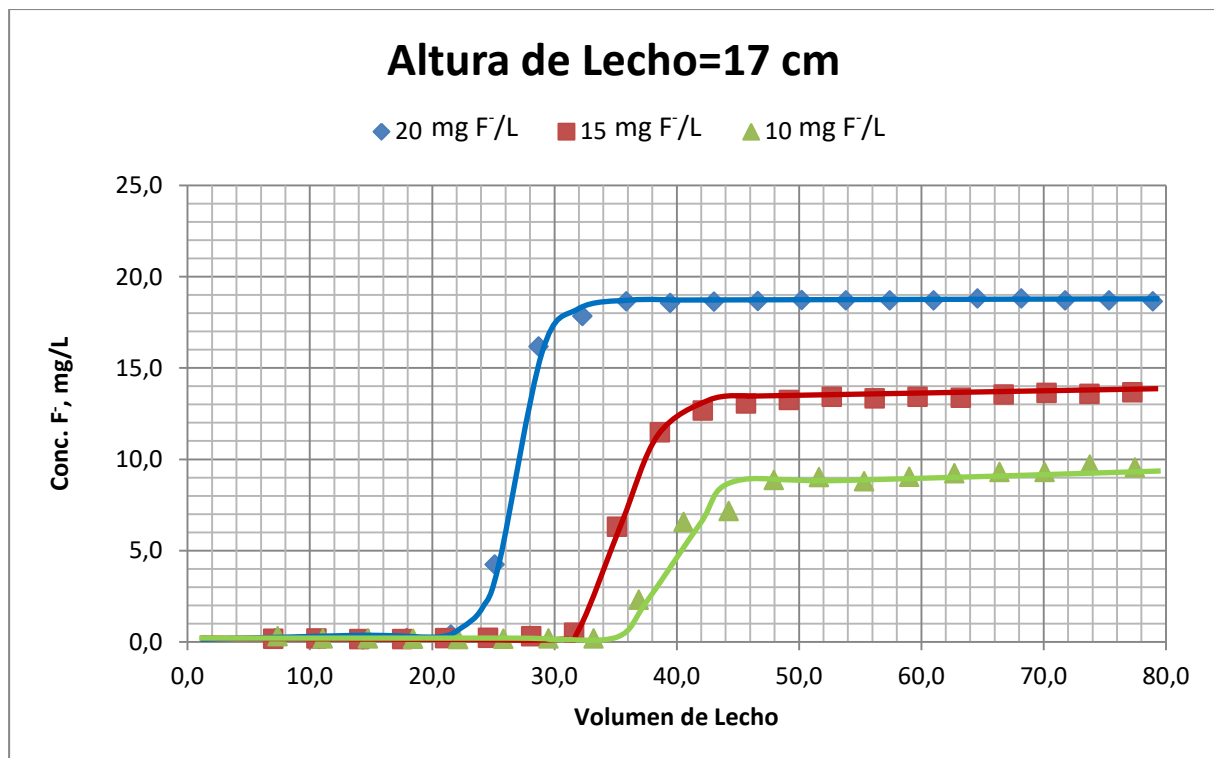


Figura 7.18. Curvas de ruptura a 17 cm de altura de lecho

Se observa que las curvas de ruptura obtenidas responden al comportamiento teórico esperado, donde a mayor concentración de fluoruro en la alimentación se reduce el tiempo de saturación del adsorbente.

7.2.2. TIEMPOS DE OPERACIÓN

Se denomina tiempo de operación el transcurrido entre el comienzo de trabajo de la columna y el tiempo en el que se alcanza la concentración límite, en el tanque de salida, de 1,5 mg F/L establecida por la OMS para el agua de consumo humano.

A partir de los resultados experimentales y por interpolación se han obtenido los tiempos de operación, que se recogen en la Tabla 7.7 y se representa en la Figura 7.19.

Se puede observar que el tiempo de operación sigue una correlación lineal con la altura del lecho para cada una de las concentraciones de fluoruro de alimentación. Lo que permite obtener los tiempos de operación para cualquier altura de lecho fuera de este estudio.

Concentración de alimentación (mg F-/L)	Altura de lecho (cm)	Tiempos de operación (min)
20	5,5	76,01
	11	152,02
	17	234,94
15	5,5	110,66
	11	221,32
	17	342,04
10	5,5	121,605
	11	243,21
	17	375,87

Tabla 7.7. Tiempos de operación

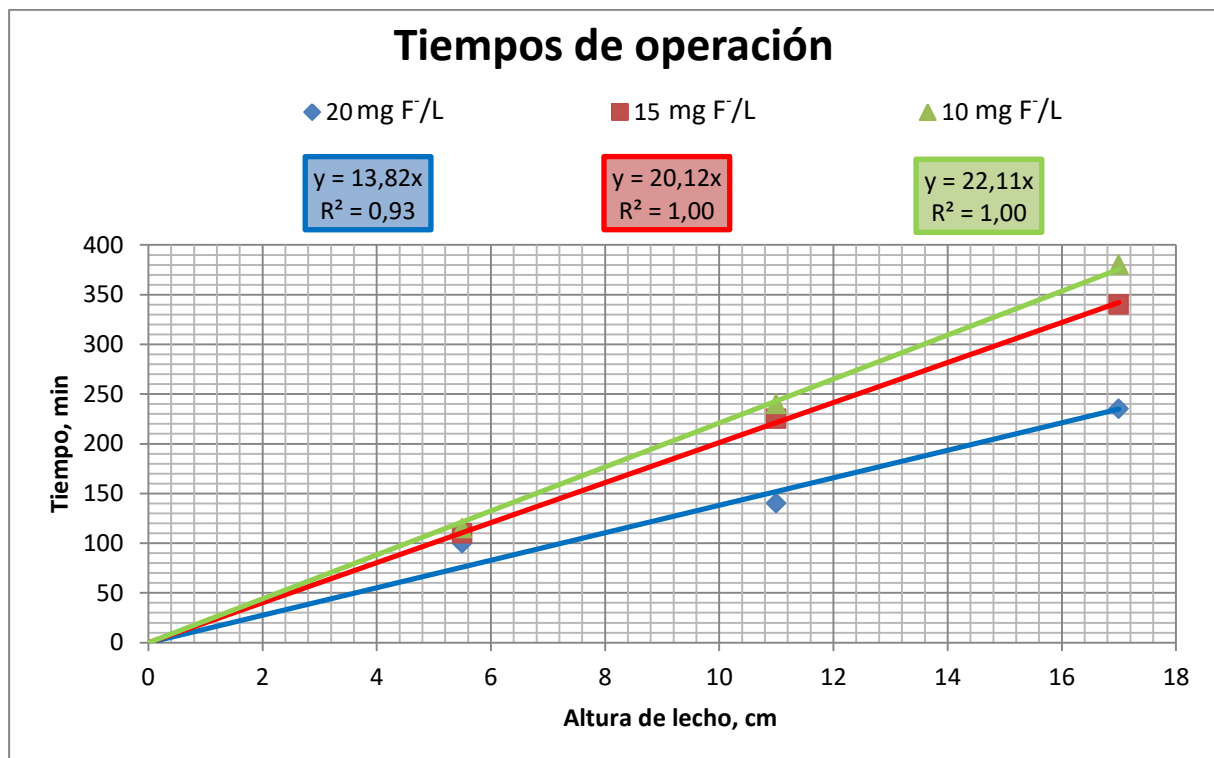


Figura 7.19. Tiempos de operación.

7.2.3. APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE EQUILIBRIO

Se ha intentado modelizar el comportamiento de la columna mediante una serie de modelos entre los cuales destacan los de Bohart-Adams y Thomas. En este apartado se han utilizado los datos experimentales, recogidos en el Anexo 2, en las Tablas C-5-20-1 hasta C-15-10-1, para el cálculo de las constantes de dichos modelos.

7.2.3.1. MODELO BOHART-ADAMS

Este modelo relaciona la altura de lecho con el tiempo de trabajo y las condiciones de operación, a través de una serie de constantes características del mismo, tal como se indica en el apartado 5.6.1, ecuación 5.5.

$$\ln \frac{C}{C_o} = K_{AB} * C_o * t - K_{AB} * N_o * \frac{h}{V}$$

Ecuación 5.5. Ecuación del modelo Bohart-Adams

Que nos indica que al representar $\ln(C/C_0)$ frente al tiempo para unas determinadas condiciones de operación, C_0 , h , y V , se debe obtener una línea recta cuya pendiente y ordenada en el origen nos permite calcular los parámetros del modelo K_{AB} y N_0 .

En las Figuras 7.20, 7.21 y 7.22 se representan los resultados experimentales obtenidos en este trabajo y en la Tabla 7.8 se recogen los valores de las constantes de dicho modelo.

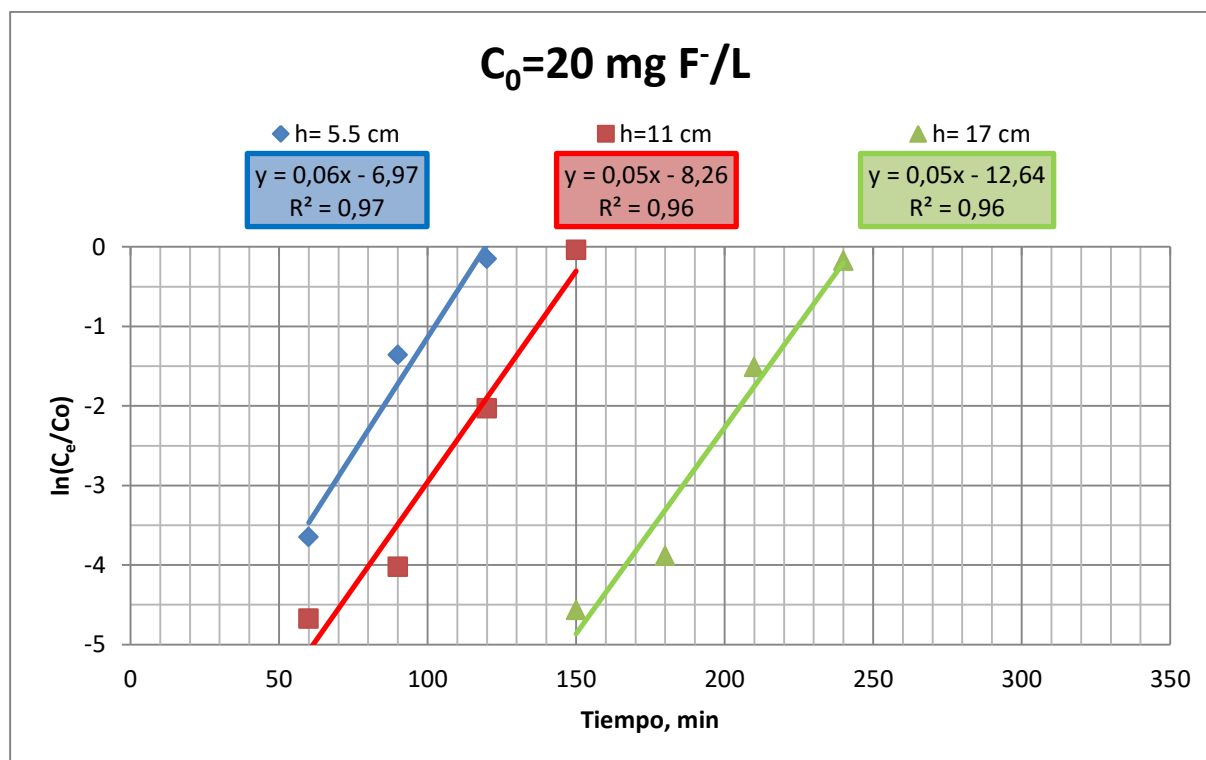


Figura 7.20. Modelo Bohart-Adams a 20 mg/L de fluoruro.

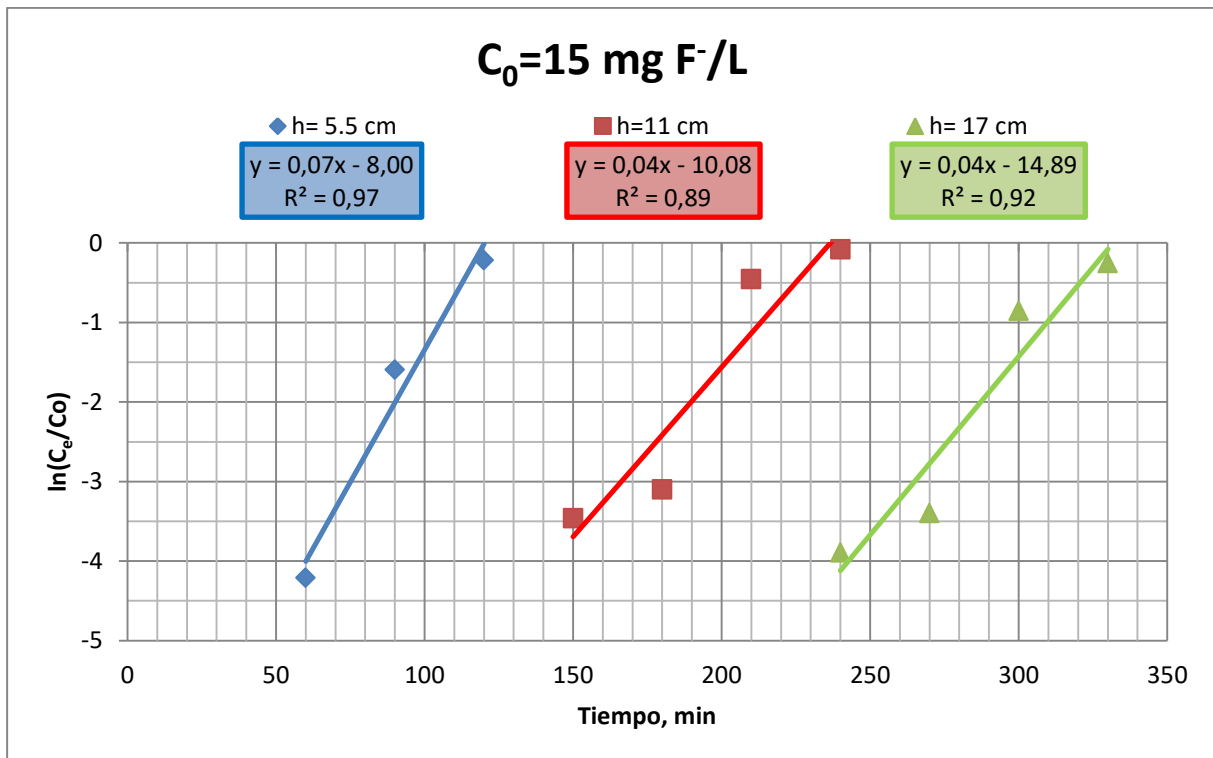


Figura 7.21. Modelo Bohart-Adams a 15 mg/L de fluoruro.

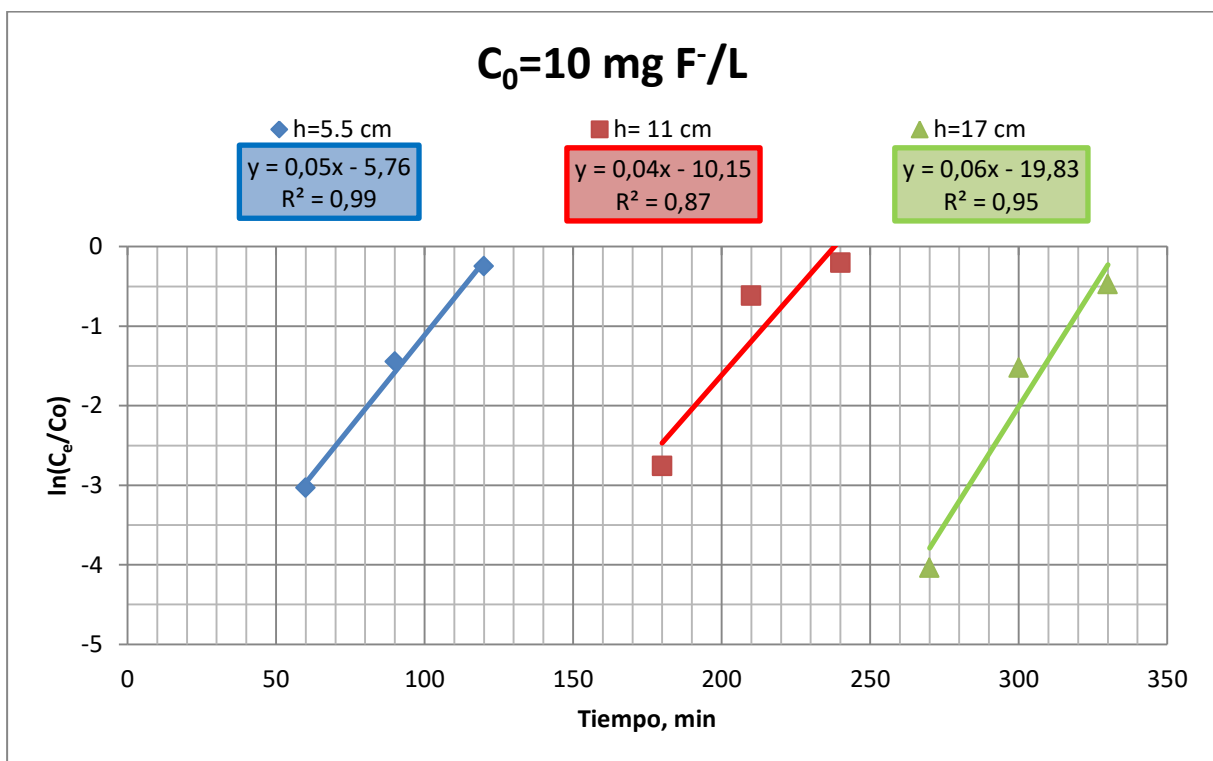


Figura 7.22. Modelo Bohart-Adams a 10 mg/L de fluoruro.

Alimentación (mg F ⁻ /L)	Altura de lecho (cm)	Velocidad lineal (m/min)	K _{AB} (L/(mg*min))	N ₀ (mg/g)
20	5,5	2,33	0,00290	91,34
	11	2,18	0,00265	110,83
	17	2,03	0,00260	161,33
15	5,5	2,22	0,00447	64,74
	11	2,14	0,00287	122,94
	17	1,99	0,00300	161,19
10	5,5	2,45	0,00460	49,99
	11	2,27	0,00430	87,29
	17	2,09	0,00590	114,64

Tabla 7.8. Parámetros del modelo Bohart-Adams

7.2.3.2. MODELO THOMAS

Este modelo relaciona la masa de adsorbente con el tiempo de trabajo y las condiciones de operación, a través de una serie de constantes características del mismo tal como se indica en el apartado 5.6.1, ecuación 5.6.

$$\ln\left(\frac{C_o}{C} - 1\right) = \frac{K_{TH} * q_o * M}{Q} - K_{TH} * C_o * t$$

Ecuación 5.6. Ecuación del modelo Thomas

Que nos indica que al representar $\ln((C/C_o)-1)$ frente al tiempo para unas determinadas condiciones de operación, C_o y Q , se debe obtener una línea recta cuya pendiente y ordenada en el origen nos permite calcular los parámetros del modelo, K_{TH} y N_0 .

En las Figuras 7.23, 7.24 y 7.25 se representan los resultados experimentales obtenidos en este trabajo y en la Tabla 7.9 se recogen los valores de las constantes de dicho modelo.

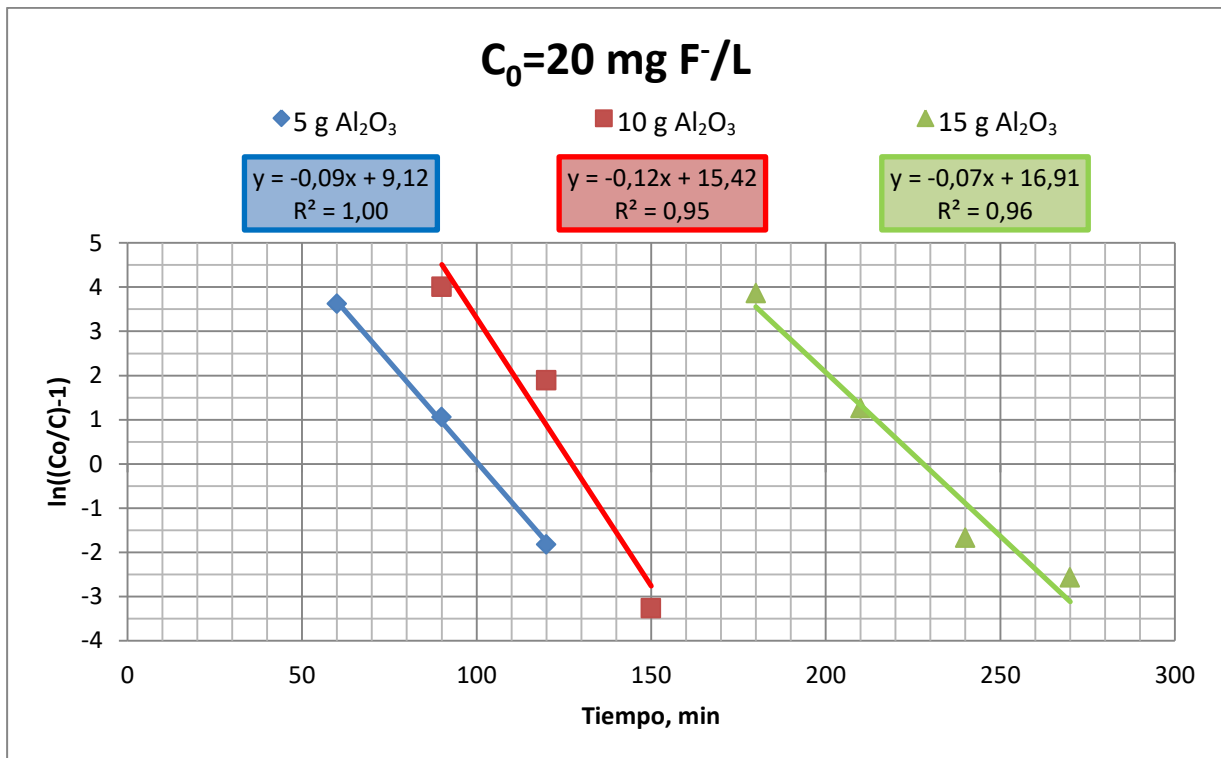


Figura 7.23. Modelo Thomas a 20 mg/L de fluoruro.

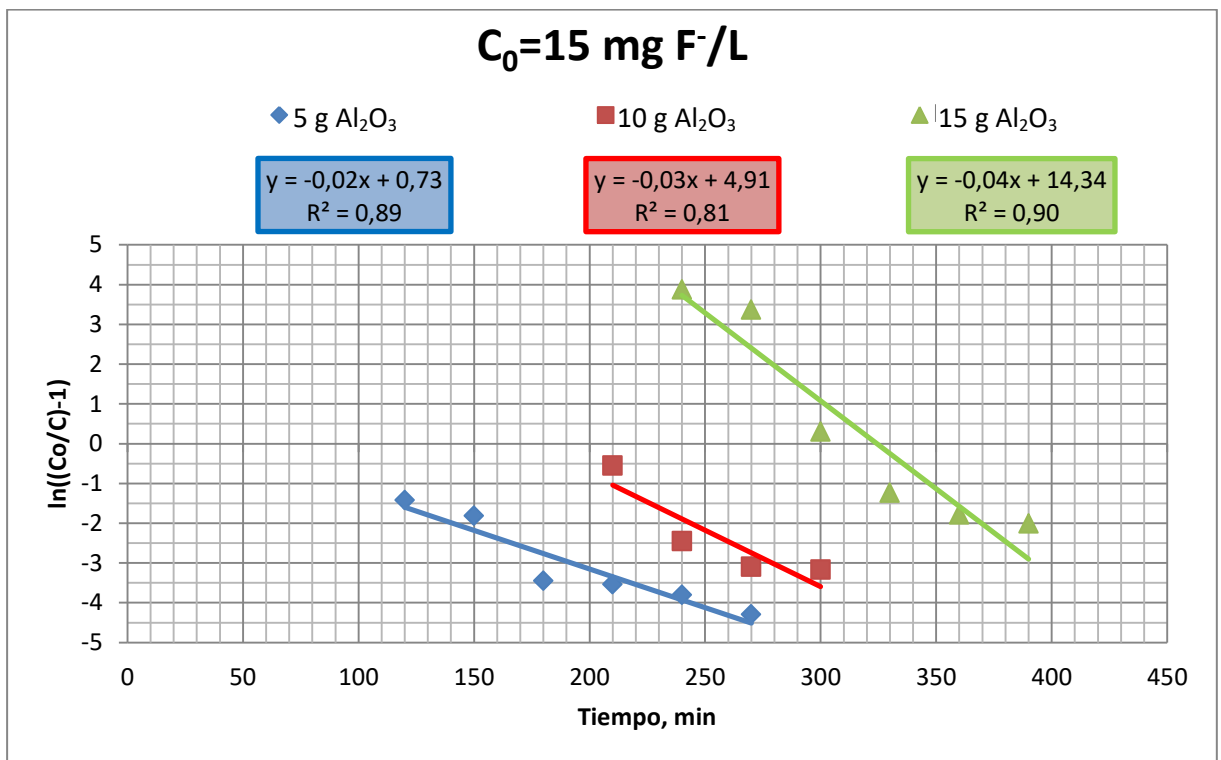


Figura 7.24. Modelo Thomas a 15 mg/L de fluoruro.

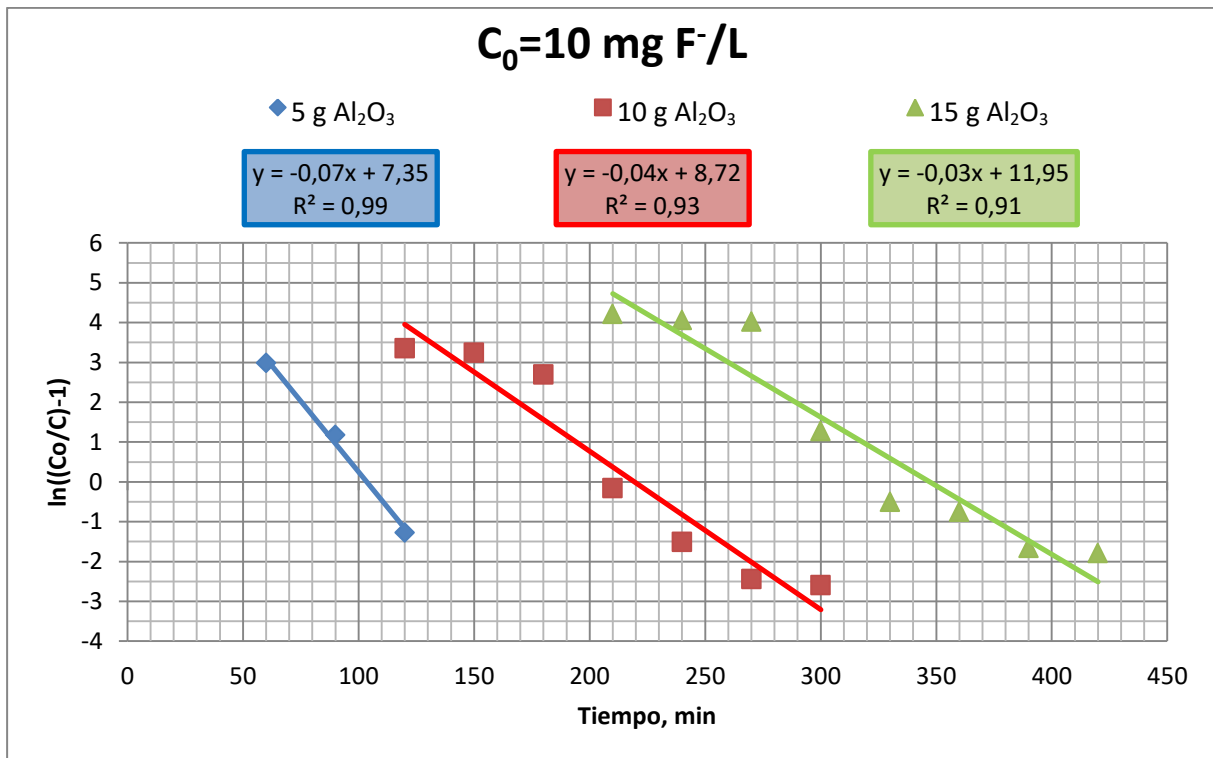


Figura 7.25. Modelo Thomas a 10 mg/L de fluoruro.

Alimentación (mg F ⁻ /L)	Alúmina (mg)	Caudal (L/min)	K _{TH} (L/(min*mg))	q ₀ (mg/g)
20	5	0,0155	0,0046	6,21
	10	0,0145	0,0061	7,39
	15	0,0135	0,0037	12,36
15	5	0,0147	0,0013	0,85
	10	0,0143	0,0019	3,75
	15	0,0132	0,0029	6,47
10	5	0,016	0,0071	1,12
	10	0,015	0,0040	2,19
	15	0,014	0,0034	3,26

Tabla 7.9. Parámetros del modelo Thomas

7.2.4. INFLUENCIA DE LA REACTIVACIÓN DE LA ALÚMINA

Para observar la influencia de la reactivación de la alúmina, en la capacidad de adsorción del adsorbente, se repitieron los experimentos, para las tres alturas de lecho, con una concentración de 20 mg/L de fluoruro en la alimentación para una 2ª y 3ª activación de la alúmina. Los datos experimentales se recogen en el Anexo 2, en las Tablas C-5-20-2 hasta C-15-20-3.

En el apartado 6.1.1.2 se indica los pasos utilizados para la reactivación de la alúmina.

En las Figuras 7.26, 7.27 y 7.28 se muestra la evolución de la C/C_0 frente al volumen tratado, para las diferentes activaciones de la alúmina. Se puede observar que la capacidad de adsorción del lecho se reduce a medida que aumenta el número de activaciones.

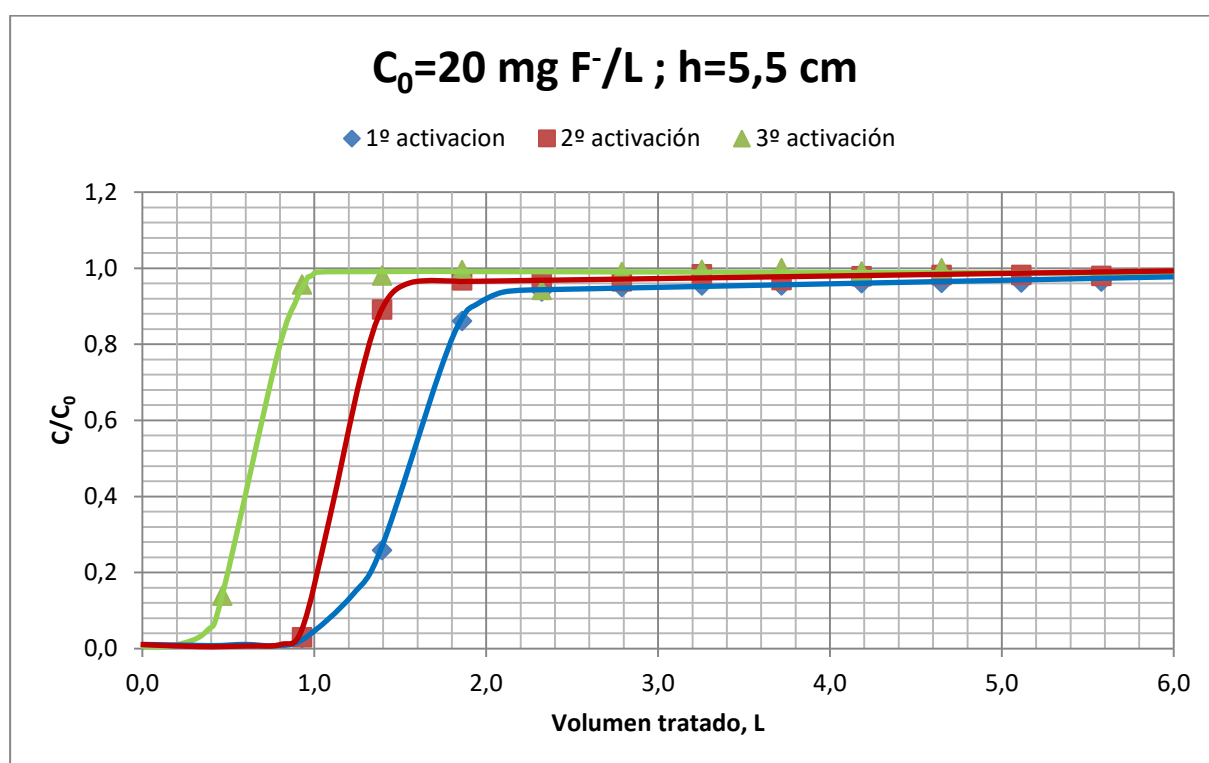


Figura 7.26. Influencia de la reactivación de la alúmina para 5,5 cm de altura de lecho y alimentación de 20 mg/L F.

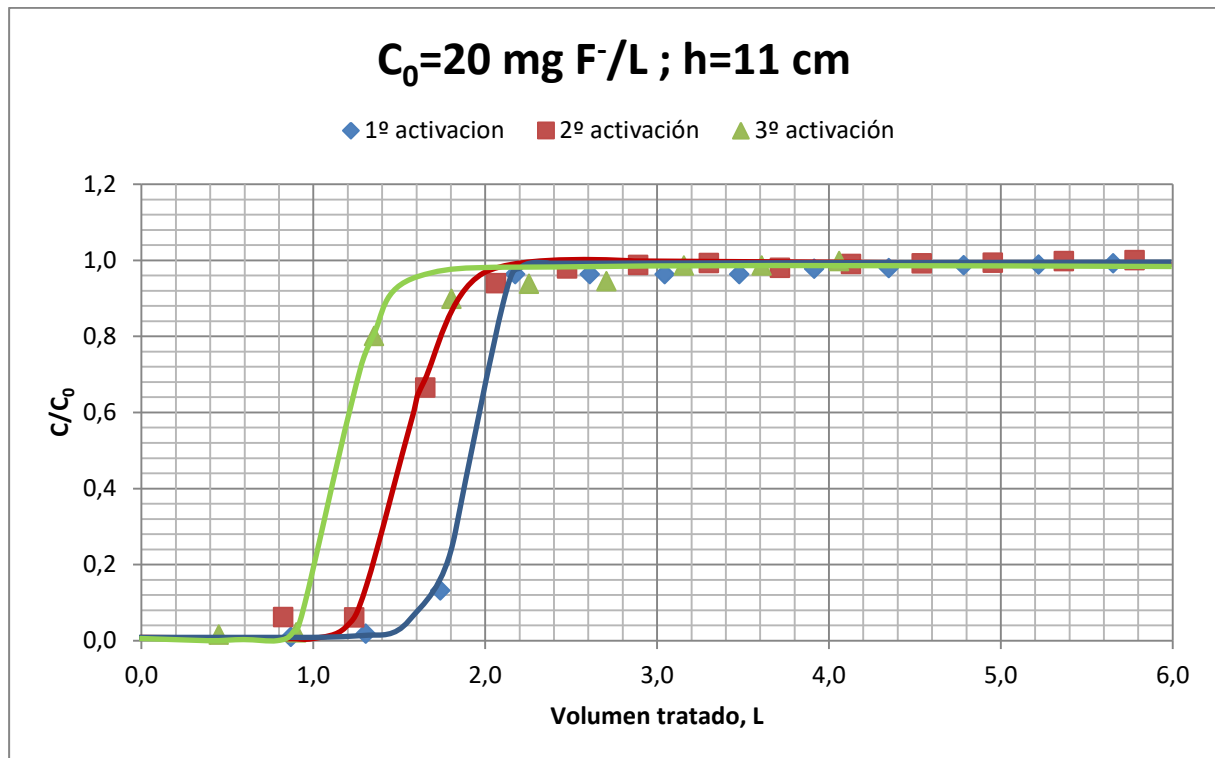


Figura 7.27. Influencia de la reactivación de la alúmina para 11 cm de altura de lecho y alimentación de 20 mg/L F^- .

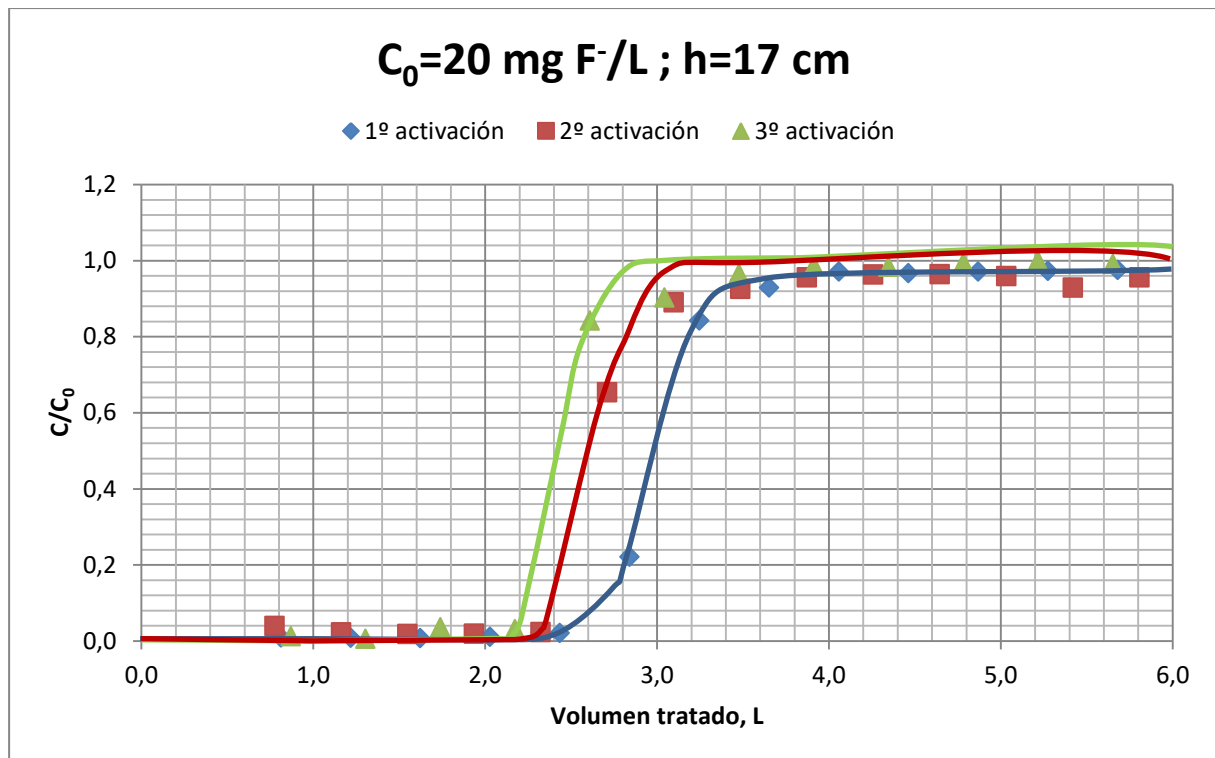


Figura 7.28. Influencia de la reactivación de la alúmina para 17 cm de altura de lecho y alimentación de 20 mg/L F^- .

También se analizó la variación de los tiempos de operación (definido en el apartado 7.2.2) con el número de activaciones, y los resultados obtenidos se muestran en Tabla 7.10. Se observa que, para cualquier altura de lecho, al aumentar el número de activaciones disminuyen los tiempos de operación.

Altura de lecho (cm)	Número de activaciones	Volumen tratado (L)	Tiempo de operación (min)
5,5	1	1,03	98
	2	0,95	72
	3	0,27	38
11	1	1,53	135
	2	1,21	71
	3	0,93	40
17	1	2,55	236
	2	2,35	212
	3	2,20	184

Tabla 7.10. Tiempos de operación en función del número de activaciones

8. CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

De los resultados experimentales obtenidos en el estudio del proceso de adsorción del fluoruro por alúmina activa, se deducen las siguientes conclusiones:

A) De los ensayos en discontinuo que:

- El pH evoluciona de manera independiente a la concentración inicial de fluoruro, manteniéndose prácticamente constante para cada una de las concentraciones de alúmina activa, mostrando una tendencia a un valor final de pH entre 5 y 7.
- El porcentaje de adsorción disminuye, dentro de cada serie, al aumentar la concentración inicial de fluoruro.
- El porcentaje de adsorción, para una misma concentración inicial de fluoruro, aumenta con la concentración de alúmina.
- Para 8 g de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{L}$, y concentraciones menores de 15 mg F^-/L , se alcanza el equilibrio, a partir de los 90 minutos.
- Los datos de equilibrio se ajustan bien al modelo Freundlich para bajas concentraciones de fluoruro (2-10 mg F^-/L). Mientras que el modelo Langmuir se ajusta adecuadamente para concentraciones entre 5 -20 mg F^-/L .
- La reacción de adsorción se ajusta adecuadamente a una cinética de pseudo segundo orden.
- Para cualquier concentración de alúmina y una determinada concentración inicial de fluoruro, al aumentar el número de activaciones, se reduce tanto la masa de fluoruro adsorbido como el porcentaje de adsorción correspondiente.

B) De los ensayos en discontinuo que:

- El punto de ruptura es inversamente proporcional a la concentración inicial de fluoruro en la alimentación.
- Los tiempos de operación son directamente proporcionales a la altura de lecho. Obteniéndose un conjunto de correlaciones, en función de la concentración de fluoruro en la alimentación, que nos permiten calcular el tiempo de operación para cualquier altura de lecho.
- Los datos se ajustan bien al modelo Bohart-Adams y al modelo Thomas, lo que nos ha permitido calcular los parámetros correspondientes para ambos modelos.
- A medida que se incrementa el número de activaciones, a las que se somete la alúmina, disminuyen los tiempos de ruptura y operación.

9. CONCLUSIONS

9. CONCLUSIONS

From the experimental results obtained in the study of the process of adsorption of fluoride by active alumina, the following conclusions are deduced:

A) From the discontinuous tests that

- The pH evolves independently at the initial fluoride concentration, remaining practically constant for each of the active alumina concentrations, showing a tendency to a final pH value between 5 and 7.
- The percentage of adsorption decreases, within each series, by increasing the initial concentration of fluoride.
- The percentage of adsorption, for the same initial concentration of fluoride, increases with the concentration of alumina.
- For 8 g of Al_2O_3 / L, and concentrations below 15 mg F^- / L, the equilibrium is reached, after 90 minutes.
- The equilibrium data fit well with the Freundlich model for low concentrations of fluoride (2-10 mg F^- / L). While the Langmuir model is suitably adjusted for concentrations between 5-20 mg F^- / L.
- The adsorption reaction is suitably adjusted to a pseudo second order kinetics.
- For any concentration of alumina and a certain initial concentration of fluoride, by increasing the number of

activations, both the mass of fluoride adsorbed and the corresponding percentage of adsorption are reduced.

B) From the continuous tests that

- The break point is inversely proportional to the initial concentration of fluoride in the feed.
- Operating times are directly proportional to bed height. Obtaining a set of correlations, depending on the concentration of fluoride in the feed, which allow us to calculate the operating time for any bed height.
- The data fit well with the Bohart-Adams model and the Thomas model, allowing us to calculate the corresponding parameters for both models.
- As the number of activations to which the alumina is subjected increases, the burst and operation times decrease.

10. BIBLIOGRAFÍA

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial de la Salud. Available at: <http://bit.ly/1mqZIVc> [21 Nov. 2016].
- [2] Acuamed. (2017). Available at: <http://bit.ly/2juxX9w> [30 Ene. 2017].
- [3] BBC. (2016). El mapa global de los ríos en peligro. [Online] Available at: <http://bbc.in/2geTPWs> [21 Nov. 2016].
- [4] Datos Sobre La Fluorosis. (2016). [online] Available at: <http://bit.ly/2fIEdOe> [1 Dic. 2016].
- [5] Estudio médico del flúor / Isidro Aguilar Rodríguez. Editorial: Salamanca: Universidad, 1955.
- [6] Mercurio en la boca. (2017). flúor o fluoruro de sodio de la pasta de dientes es toxico. [Online] Available at: <http://bit.ly/2pT4VI7> [Accessed 23 Abr. 2017].
- [7] Coagulación y floculación. (2017). Slideshare. Available at: <http://bit.ly/2jZGhi9> [7 Feb. 2017].
- [9] Desalación por ósmosis inversa. (2017). Instituto Tecnológico de Canarias. Available at: <http://bit.ly/2kFynvB> [30 ene. 2017].
- [10] Ablandamiento Con Cal/Soda. (2017). Oocities. Available at: <http://bit.ly/2kolHuu> [7 Feb. 2017].
- [11] Espigares García, M. and PÉREZ LÓPEZ, J. (2017). Cidta. Precipitación Química Ablandamiento Del Agua. Available at: <http://bit.ly/2kjegTG> [7 Feb. 2017].
- [12] Camen-q. (2017). Alúmina Activada. [Online] Available at: <http://bit.ly/2mes9qq> [1 Mar. 2017].

- [13] Moskovitz, M., Witman, G. and Pelley, A. (2017). Alúmina Activada "La Sustancia Milagrosa". [Online] dynamicadsorbents. Available at: <http://bit.ly/2lXe3H2> [1 Mar. 2017].
- [14] Mkultra. (2017). Formas de eliminar el venenoso flúor. [Online] Available at: <http://bit.ly/2mFN2YZ> [1 Mar. 2017].
- [15] González, M. (2017). Adsorción. [Online] la guía 2000. Available at: <http://bit.ly/1nc19h1> [1 Mar. 2017].
- [16] González, M. (2017). Diferencia entre adsorción y absorción. [Online] mariogonzalez. Available at: <http://bit.ly/2mLLprO> [1 Mar. 2017].
- [17] Bartle, P. (2017). Fuentes De Agua Potable. [Online] Community empowerment collective. Available at: <http://bit.ly/2lzvBbu> [1 Mar. 2017].
- [18] Obando, I. (2017). Tipos de HPLC. [Online] Slide player. Available at: <http://bit.ly/2lS7aGw> [Accessed 6 Mar. 2017].
- [19] Moreno, A. (2017). Procesos químicos. Precipitación, coagulación y floculación. [Online] Mailxmail. Available at: <http://bit.ly/2mLH9Zb> [1 Mar. 2017].
- [20] Ihobe. (2017). Electrodiálisis. Available at: <http://bit.ly/2kKcdvi> [7 Feb. 2017].
- [21] González, M. (2017). Electrodiálisis. [Online] la guía 2000. Available at: <http://bit.ly/2lX76pO> [1 Mar. 2017].
- [22] Méndez, Á. (2017). Ecuación de Langmuir. [Online] la guía 2000. Available at: <http://bit.ly/2lUAF7> [1 Mar. 2017].
- [23] Rojas, H., Guerrero, D., Vásquez, O. and Valencia, J. (2017). Aplicación del Modelo de Bohart y Adams en la Remoción de Mercurio de Drenajes de Minería por Adsorción con Carbón Activado. [Online] Available at: <http://bit.ly/2meL9Vx> [1 Mar. 2017].
- [24] Suarez, A. (2017). Adsorción. [Online] slideshare. Available at: <http://bit.ly/2mLCg2t> [1 Mar. 2017].
- [25] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2017). [Online] Available at: <http://bit.ly/2miLRkG> [2 Mar. 2017].
- [26] Real decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE nº 45.
- [27] Vwr. (2017). Floculadores digitales Jar Test. [Online] Available at: <http://bit.ly/2oVgpcC> [Accessed 23 Abr. 2017].
- [28] Direct industry. (2017). Cromatógrafo iónica / ultravioleta / UV/VIS / de laboratorio. [Online] Available at: <http://bit.ly/2oyEwLX> [Accessed 23 Abr. 2017].
- [28] Metrohm. [Online] Available at: <http://bit.ly/2l5RaUW> [Accessed 30 Abr. 2017].

[29] García Serrano, J. (2017). Cromatógrafo iónico (aniónico). [Online] Servicios Científico-técnicos de la UPC. Available at: <http://bit.ly/2pT2Prx> [Accessed 23 Abr. 2017].

[30] Onmeda. (2017). FLUORURO DE SODIO. [Online] Available at: <http://bit.ly/2pS4Gu7> [Accessed 23 Abr. 2017].

[31] Onsalus. (2017). Fluoruro de sodio: usos y efectos secundarios. [Online] Available at: <http://bit.ly/2p5uiU8> [Accessed 23 Abr. 2017].

[32] Chemical safety facts. (2017). Hidróxido de sodio. [Online] Available at: <http://bit.ly/2oB3PMm> [Accessed 23 Abr. 2017].

[33] Ecured. (2017). Hidróxido de Sodio. [Online] Available at: <http://bit.ly/2m7E9ui> [Accessed 23 Abr. 2017].

[34] Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (2017). Anhídrido sulfúrico y ácido sulfúrico. [Online] Available at: <http://bit.ly/2ItJcAu> [Accessed 30 Abr. 2017].

[35] Textos Científicos. (2017). PROPIEDADES DEL ÁCIDO SULFÚRICO. [Online] Available at: <http://bit.ly/2oUycxj> [Accessed 30 Abr. 2017].

[36] Medline plus. (2017). Intoxicación con ácido sulfúrico. [Online] Available at: <http://bit.ly/2px2Q4b> [Accessed 30 Abr. 2017].

[37] Indec. (2017). Aspectos Básicos De La Elaboración De Ácido Sulfúrico. [Online] Available at: <http://bit.ly/2k8JOPS> [Accessed 30 Abr. 2017].

Advances in fluorine chemistry / Editors M. Stacey, J.C. Tallow, A.G. Sharpe.

Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (2017). Hidróxido de sodio. [Online] Available at: <http://bit.ly/2oUpjnu> [Accessed 30 Abr. 2017].

Alvin W.M. Ip, J. P. (2010). A comparative study on the kinetics and mechanisms of removal of Reactive Black 5 by adsorption onto activated carbons and bone char. *Chemical Engineering Journal* 157, 434-442.

APHA, Métodos Normalizados para el análisis de aguas residuales, Ed. Díaz de Santos, 1997.

Bansiwal, Thakre, Labhshetwar, 2009, "Fluoride removal using lanthanum incorporated chitosan beads", *Colloids and SurfacesB: Biointerfaces*, vol. 74, no. 1, pp.216-224.

Ecured. (2017). Ácido clorhídrico. [Online] Available at: <http://bit.ly/2fIS6L2> [28 Mar. 2017].

Eliminación de la dureza y reducción del contenido en fluoruros del agua / Elizabeth González Ramos; dirigido por Sebastián Delgado Díaz, Fernando Díaz González, Manuel Hernández Suárez. La Laguna: [s.n.], 2008.

- Ercoworldwide. (2017). Ácido Clorhídrico. [Online] Available at: <http://bit.ly/2fxF7eN> [Accessed 23 Abr. 2017].
- Flocculators with Independent Positions - FC S Series. (2017). velp. [Online] Available at: <http://bit.ly/2ohIDQh> [Accessed 23 Abr. 2017].
- Fluorine chemistry / edited by J.H. Simons. Editorial: New York: Academic Press, 1950.
- Fluorosis dental. Available at: <http://bit.ly/1HbClgn> [1 Dic. 2016].
- García Caballero, L. (2011). Eliminación de fluoruros del agua. Proyecto e final de carrera. Universidad de La Laguna.
- Gewater. (2017). Tratamiento del agua con electrodiálisis reversible. [Online] Available at: <http://bit.ly/2mvH13T> [6 Mar. 2017].
- Guía para el desarrollo de proyectos oficiales en la industria química por Joaquín copado López del colegio oficial de químicos de Madrid, 1993.
- Hernández García, R. (2016). Estudio del comportamiento del carbón activo en la adsorción de fluoruro procedente de aguas con concentraciones elevadas. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.
- J. Weber, W. (2003). Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos. 1st ed.
- Lenntech. (2017). Nanofiltración y ósmosis inversa. [Online] Available at: <http://bit.ly/2mLDniA> [1 Mar. 2017].
- Lenntech. (2017). Sulfatos. [Online] Available at: <http://bit.ly/2mPAk9g> [2 Mar. 2017].
- M. Devlin, T. (2006). Bioquímica. 4th ed.
- Maurice S. Onyango, Y. K. (2004). Adsorption equilibrium modeling and solution chemistry dependence of fluoride removal from water by trivalent-cation-exchanged zeolite F-9. *Journal of Colloid and Interface Science* 279, 341-350.
- Meenakshi, R. M. (2006). Fluoride in drinking water and its removal. *Journal of hazardous materials*, vol.137, no.1, 456-463.
- Meenakshi, R. M. (2006). Fluoride in drinking water and its removal. *Journal of hazardous materials*, vol.137, no.1, 456-463.
- Méndez, Á. (2017). La guía 2000. [Online] Ácido clorhídrico. Available at: <http://bit.ly/2fcfMZ0> [Accessed 28 Mar. 2017].
- Merck Millipore. (2017). [online] Available at: <http://bit.ly/2piOmUI> [Accessed 30 Abr. 2017].
- Método rápido para descubrir y determinar el flúor en las aguas minerales / J. y R. Casares.
- Odontologiapediatrica. (2016). Available at: <http://bit.ly/1R6voaw> [1 Dic. 2016].

Organización panamericana de la salud. [Online] Available at: <http://bit.ly/2gvBpnu> [21 Nov. 2016].

Ozores Belmonte, M. (2017). Cromatografía iónica. [Online] laboratorio de técnicas instrumentales. Available at: <http://bit.ly/2p5FYXf> [Accessed 23 Abr. 2017].

Pascual, E. (2016). Contaminación Biológica Del Agua. [Online] El blog verde. Available at: <http://bit.ly/2g9XmEr> [21 Nov. 2016].

Pérez Suárez, A. (2012). Eliminación de fluoruros en aguas del norte de Tenerife. Proyecto de Fin de Carrera. Universidad de La Laguna.

Plan Hidrológico de Tenerife, 1993.

Plan Hidrológico de Tenerife, 2015.

Plantas Desaladoras En España. (2017). Fundación Aquae. Available at: <http://bit.ly/2kJPWOs> [30 Ene. 2017].

Policloruro de aluminio. (2017). POLICLORURO DE ALUMINIO. [Online] Available at: <http://bit.ly/2eqtD9x> [1 Mar. 2017].

Ramírez Rodríguez, R. (2016). La problemática global del agua. [Online] monografías. Available at: <http://bit.ly/25VFmCb> [21 Nov. 2016].

Rosal, R. (2017). Eliminación de Fluoruros en Agua Potable. [Online] Madrimasd. Available at: <http://bit.ly/2mWSDdh> [6 Mar. 2017].

Salazar Pérez, C. (2016). Adsorción de fluoruro por alúmina activada. Trabajo de fin de grado. Universidad de La Laguna.

SÁNCHEZ RAMÍREZ, J. (2017). Estudio estadístico para la obtención de las relaciones necesarias entre parámetros analíticos de las aguas residuales para su caracterización según los modelos matemáticos de fangos activados. Trabajo Final de Máster. Universidad Politécnica De Valencia.

Sancho Fernández, M. and Garrigós Jiménez, M. (2017). Optimización de la planta de electrodiálisis reversible de Heineken España S.A. Trabajo Final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

Shihabudheen M. Maliyekkal, A. K. (2006). Manganese-oxid-coated alumina: A promising sorbent for defluoridation of water. Water Research 40, 3497-3506.

Silicagel. (2017). Alúmina Activada. [Online] Available at: <http://bit.ly/2lUpOj9> [Accessed 1 Mar. 2017].

Silicagel. (2017). En los secadores de aire se usa alúmina activada. [Online] Available at: <http://bit.ly/2lzAqBG> [1 Mar. 2017].

Sinia. (2017). TECNOLOGIAS DE MEMBRANA ELECTRODIÁLISIS. Available at: <http://bit.ly/2kjveRw> [7 Feb. 2017].

Sistema Español de Información sobre el Agua. (2017). Hispagua. Available at: <http://bit.ly/2jJup6I> [30 Ene. 2017].

Teutli Sequeira, E. (2014). Estudio Comparativo De Adsorbentes Para La Remoción De Iones Fluoruro Del Agua De Uso Y Consumo En México. Doctorado. Universidad Autónoma Del Estado De México.

Universidad Autónoma de Madrid. (2017). Unidad de Cromatografía. [Online] Available at: <http://bit.ly/2qhKBAt> [Accessed 30 Abr. 2017].

Velp. [Online] Available at: <http://bit.ly/2oAResG> [Accessed 23 Abr. 2017].

Vijaya Y. , A. Krishnaiah. (2009). Sorptive Response Profile of Chitosan Coated Silica in the Defluoridation of Aqueous Solution. E-Journal of Chemistry, 6(3)., 713-724.

Worku Nigussie, F. Z. (2007). Removal of excess fluoride from water using waste residue from alum manufacturing process. Journal of Hazardous Materials, 954-953.

11. ANEXOS

11. ANEXOS

A continuación, se muestran las tablas con los datos experimentales. Para numerar cada tabla se utilizó un código de 5 grupos de caracteres:

1. Tipo de experimento: discontinuo, D y continuo, C.
2. Concentración de alúmina empleada inicialmente en g/L para discontinuo o en gramos para continuo.
3. Concentración inicial de flúor en discontinuo o alimentación en continuo.
4. Número de activaciones realizada a la alúmina.
5. Número de muestra, solo en discontinuo indicando “a” para la muestra 1, “b” para la muestra 2 y “m” para las medias.

ANEXOS 1: DATOS DE OPERACIÓN EN DISCONTINUO

11.1. DATOS DE OPERACIÓN EN DISCONTINUO

Tabla D-2-2-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 1^º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,45	1,98	990	0,00
30	5,80	0,45	980	1,52
60	5,87	0,40	970	1,57
90	5,90	0,36	960	1,61
120	5,75	0,36	950	1,61
150	5,55	0,36	940	1,62
180	5,53	0,36	930	1,62
210	5,70	0,35	920	1,63
240	5,46	0,34	910	1,65

Tabla D-2-2-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 1^º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,56	1,98	990	0,00
30	5,70	0,45	980	1,52
60	5,60	0,40	970	1,57
90	5,70	0,38	960	1,59
120	5,77	0,37	950	1,61
150	5,76	0,36	940	1,62
180	5,73	0,36	930	1,62
210	5,75	0,36	920	1,63
240	5,55	0,34	910	1,65

Tabla D-2-2-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 1ª activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	7,01	1,98	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	5,75	0,45	980	1,52	77,72	0,76	39,43
60	5,74	0,40	970	1,57	80,28	0,79	76,35
90	5,80	0,37	960	1,60	81,76	0,80	112,46
120	5,76	0,37	950	1,61	82,24	0,81	149,07
150	5,66	0,36	940	1,62	82,71	0,81	185,26
180	5,63	0,36	930	1,62	82,97	0,81	221,63
210	5,73	0,35	920	1,63	83,34	0,82	257,42
240	5,51	0,34	910	1,65	84,15	0,82	291,37

Tabla D-2-5-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 1ª activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,00	5,208	990	0,00
30	6,20	1,189	980	3,99
60	6,10	1,048	970	4,14
90	6,16	0,937	960	4,26
120	6,20	0,930	950	4,27
150	6,18	0,926	940	4,29
180	6,14	0,880	930	4,34
210	6,11	0,881	920	4,35
240	6,16	0,869	910	4,37

Tabla D-2-5-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 1ª activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,86	5,179	990	0,00
30	6,25	1,399	980	3,76
60	6,17	1,197	970	3,97
90	6,26	1,067	960	4,10
120	6,21	1,010	950	4,17
150	6,43	1,005	940	4,18
180	6,14	0,937	930	4,26
210	6,18	0,926	920	4,28
240	6,23	0,899	910	4,31

Tabla D-2-5-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 1ª activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	6,93	5,194	990	0,000	0,00	0,00	0,00
30	6,23	1,294	980	3,873	75,34	1,91	15,74
60	6,14	1,123	970	4,053	78,82	1,98	30,31
90	6,21	1,002	960	4,180	81,29	2,01	44,88
120	6,21	0,970	950	4,220	82,08	2,06	58,34
150	6,31	0,966	940	4,234	82,35	2,07	72,36
180	6,14	0,909	930	4,297	83,57	2,07	86,79
210	6,15	0,904	920	4,310	83,83	2,12	99,15
240	6,20	0,884	910	4,337	84,35	2,13	112,75

Tabla D-2-10-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,95	8,25	990	0,00
30	5,89	3,47	980	4,77
60	6,32	3,01	970	5,25
90	6,63	2,81	960	5,47
120	6,32	2,61	950	5,69
150	6,57	2,55	940	5,78
180	6,56	2,51	930	5,84
210	6,55	2,24	920	6,11
240	6,54	2,08	910	6,28

Tabla D-2-10-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,91	9,23	990	0,00
30	6,25	3,31	980	5,89
60	6,31	2,67	970	6,55
90	6,42	2,54	960	6,70
120	6,27	2,39	950	6,86
150	6,37	2,29	940	6,98
180	6,55	2,25	930	7,04
210	6,54	2,06	920	7,24
240	6,53	2,04	910	7,28

Tabla D-2-10-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F ⁻ /g Al ₂ O ₃)	t/qt
0	6,93	8,74	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	6,07	3,39	980	5,33	61,59	2,66	11,26
60	6,32	2,84	970	5,90	68,17	2,95	20,35
90	6,53	2,68	960	6,08	70,30	3,04	29,59
120	6,30	2,50	950	6,27	72,53	3,14	38,25
150	6,47	2,42	940	6,38	73,75	3,19	47,02
180	6,56	2,38	930	6,44	74,39	3,22	55,94
210	6,55	2,15	920	6,67	77,14	3,34	62,93
240	6,54	2,06	910	6,78	78,34	3,39	70,82

Tabla D-2-15-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos
0	6,80	15,00	990	0,00
30	6,24	8,02	980	6,99
60	6,12	7,44	970	7,63
90	6,10	6,93	960	8,20
120	6,80	6,85	950	8,35
150	6,74	6,85	940	8,41
180	6,74	6,50	930	8,80
210	5,55	6,41	920	8,95
240	6,68	6,04	910	9,36

Tabla D-2-15-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,20	15,00	990	0,00
30	6,77	7,89	980	7,11
60	6,81	7,33	970	7,74
90	6,28	6,89	960	8,24
120	5,80	6,81	950	8,38
150	5,78	6,55	940	8,69
180	5,87	6,33	930	8,96
210	6,61	6,32	920	9,04
240	6,56	6,11	910	9,29

Tabla D-2-15-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	7,00	15,00	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	6,51	7,96	980	7,05	47,50	3,53	8,51
60	6,47	7,39	970	7,68	51,74	3,84	15,62
90	6,19	6,91	960	8,22	55,36	4,11	21,90
120	6,30	6,83	950	8,36	56,32	4,18	28,69
150	6,26	6,70	940	8,55	57,60	4,28	35,07
180	6,31	6,42	930	8,88	59,80	4,44	40,54
210	6,08	6,37	920	8,99	60,55	4,50	46,71
240	6,62	6,07	910	9,32	62,79	4,66	51,48

Tabla D-2-20-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos
0	7,15	20,00	990	0,00
30	6,15	13,45	980	6,62
60	6,67	12,96	970	7,23
90	6,53	12,68	960	7,63
120	6,73	12,45	950	7,98
150	6,74	12,40	940	8,15
180	6,70	12,18	930	8,48
210	6,69	12,09	920	8,68
240	6,79	11,97	910	8,90

Tabla D-2-20-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos
0	7,20	20,00	990	0,00
30	6,84	13,45	980	6,62
60	6,40	12,96	970	7,23
90	6,70	12,68	960	7,63
120	6,74	12,45	950	7,98
150	6,76	12,40	940	8,15
180	6,75	12,18	930	8,48
210	6,76	12,09	920	8,68
240	6,77	11,97	910	8,90

Tabla D-2-20-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt	t/qt
0	7,18	20,00	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	6,50	13,45	980	6,62	33,42	3,31	9,07
60	6,54	12,96	970	7,23	36,53	3,62	16,59
90	6,62	12,68	960	7,63	38,53	3,81	23,60
120	6,74	12,45	950	7,98	40,28	3,99	30,09
150	6,75	12,40	940	8,15	41,15	4,07	36,82
180	6,73	12,18	930	8,48	42,81	4,24	42,48
210	6,73	12,09	920	8,68	43,82	4,34	48,40
240	6,78	11,97	910	8,90	44,97	4,45	53,90

Tabla D-2-25-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,74	24,08	990	0,00
30	6,95	18,72	980	5,49
60	6,30	18,63	970	5,77
90	6,75	18,42	960	6,16
120	6,95	18,34	950	6,42
150	7,01	18,23	940	6,70
180	6,99	18,23	930	6,89
210	6,97	18,06	920	7,22
240	6,95	18,00	910	7,46

Tabla D-2-25-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,72	23,80	990	0,00
30	6,86	18,75	980	5,19
60	6,35	18,20	970	5,91
90	6,00	18,31	960	5,99
120	6,24	18,17	950	6,30
150	6,55	17,96	940	6,68
180	6,87	17,85	930	6,96
210	6,93	17,88	920	7,11
240	7,00	17,70	910	7,46

Tabla D-2-25-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt	t/qt
0	6,73	23,94	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	6,91	18,74	980	5,34	22,53	2,67	11,23
60	6,33	18,41	970	5,84	24,64	2,92	20,55
90	6,38	18,36	960	6,07	25,62	3,04	29,64
120	6,60	18,25	950	6,36	26,83	3,18	37,74
150	6,78	18,10	940	6,69	28,23	3,35	44,83
180	6,93	18,04	930	6,92	29,22	3,46	51,99
210	6,95	17,97	920	7,17	30,24	3,58	58,61
240	6,98	17,85	910	7,46	31,46	3,73	64,37

Tabla D-4-2-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 1ª activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,58	2,10	990	0,00
30	5,51	0,42	980	1,67
60	5,32	0,35	970	1,74
90	5,28	0,35	960	1,74
120	5,24	0,35	950	1,75
150	5,28	0,34	940	1,76
180	5,25	0,31	930	1,79
210	5,27	0,31	920	1,79
240	5,24	0,30	910	1,80

Tabla D-4-2-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 1ª activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,57	2,02	990	0,00
30	5,53	0,41	980	1,59
60	5,48	0,32	970	1,68
90	5,60	0,41	960	1,60
120	5,32	0,40	950	1,61
150	5,32	0,38	940	1,64
180	5,47	0,34	930	1,68
210	5,29	0,33	920	1,69
240	5,23	0,30	910	1,72

Tabla D-4-2-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 1ª activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	6,58	2,06	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	5,52	0,42	980	1,63	80,03	0,41	73,63
60	5,40	0,34	970	1,71	83,92	0,43	140,43
90	5,44	0,38	960	1,67	82,04	0,42	215,48
120	5,28	0,37	950	1,68	82,53	0,42	285,60
150	5,30	0,36	940	1,70	83,38	0,42	353,35
180	5,36	0,33	930	1,73	85,07	0,43	415,63
210	5,28	0,32	920	1,74	85,54	0,44	482,20
240	5,24	0,30	910	1,76	86,44	0,44	545,38

Tabla D-4-5-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 1ª activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,89	5,22	990	0,00
30	5,83	0,71	980	4,48
60	5,73	0,64	970	4,55
90	5,72	0,60	960	4,60
120	4,62	0,57	950	4,63
150	4,53	0,49	940	4,71
180	4,41	0,48	930	4,73
210	4,42	0,48	920	4,73
240	4,48	0,45	910	4,76

Tabla D-4-5-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 1ª activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,75	5,16	990	0,00
30	5,62	0,75	980	4,37
60	5,54	0,70	970	4,43
90	4,80	0,65	960	4,48
120	4,50	0,61	950	4,53
150	4,69	0,60	940	4,54
180	3,96	0,60	930	4,55
210	4,07	0,54	920	4,61
240	4,27	0,50	910	4,65

Tabla D-4-5-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 1ª activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	6,82	5,19	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	5,73	0,73	980	4,42	86,10	1,11	27,13
60	5,64	0,67	970	4,49	87,43	1,12	53,43
90	5,26	0,62	960	4,54	88,37	1,14	79,29
120	4,56	0,59	950	4,58	89,10	1,14	104,85
150	4,61	0,55	940	4,62	90,01	1,16	129,73
180	4,19	0,54	930	4,64	90,22	1,16	155,33
210	4,25	0,51	920	4,67	90,91	1,17	179,83
240	4,38	0,48	910	4,71	91,58	1,18	204,02

Tabla D-4-10-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,00	10,32	990	0,00
30	5,50	1,82	980	8,44
60	5,15	1,36	970	8,90
90	5,85	1,24	960	9,03
120	5,38	1,16	950	9,12
150	5,08	1,06	940	9,22
180	5,81	1,06	930	9,23
210	5,36	1,04	920	9,26
240	5,77	0,97	910	9,34

Tabla D-4-10-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,68	9,23	990	0,00
30	6,16	1,42	980	7,75
60	5,66	1,11	970	8,06
90	5,88	1,07	960	8,11
120	5,89	0,94	950	8,24
150	4,82	0,88	940	8,31
180	4,70	0,87	930	8,33
210	5,48	0,86	920	8,34
240	4,85	0,81	910	8,40

Tabla D-4-10-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	6,34	9,78	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	5,83	1,62	980	8,09	83,61	2,02	14,83
60	5,41	1,24	970	8,48	87,60	2,12	28,31
90	5,87	1,15	960	8,57	88,58	2,14	41,99
120	5,64	1,05	950	8,68	89,67	2,17	55,30
150	4,95	0,97	940	8,77	90,56	2,19	68,45
180	5,26	0,97	930	8,78	90,72	2,20	82,00
210	5,42	0,95	920	8,80	90,94	2,20	95,43
240	5,31	0,89	910	8,87	91,64	2,22	108,24

Tabla D-4-15-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,52	15,18	990	0,00
30	6,65	4,38	980	10,73
60	6,56	3,43	970	11,69
90	6,55	3,41	960	11,75
120	6,33	3,31	950	11,88
150	5,20	2,74	940	12,44
180	5,52	2,92	930	12,31
210	5,90	2,82	920	12,43
240	6,30	2,62	910	12,64

Tabla D-4-15-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,00	15,06	990	0,00
30	5,87	3,80	980	11,18
60	6,35	3,00	970	12,00
90	6,38	2,70	960	12,32
120	6,41	2,63	950	12,41
150	6,37	2,34	940	12,71
180	6,33	2,27	930	12,80
210	6,35	2,31	920	12,78
240	6,40	2,18	910	12,93

Tabla D-4-15-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	7,26	15,12	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	6,26	4,09	980	10,96	58,60	2,74	10,95
60	6,46	3,21	970	11,85	67,78	2,96	20,26
90	6,47	3,05	960	12,03	69,72	3,01	29,91
120	6,37	2,97	950	12,14	70,81	3,04	39,54
150	5,79	2,74	940	12,58	73,36	3,14	47,70
180	5,93	2,59	930	12,55	75,09	3,14	57,35
210	6,13	2,56	920	12,61	75,64	3,15	66,63
240	6,35	2,40	910	12,78	77,44	3,20	75,11

Tabla D-4-20-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,18	20,00	990	0,00
30	6,11	8,62	980	11,35
60	6,63	7,89	970	12,15
90	6,11	7,55	960	12,55
120	6,00	7,26	950	12,90
150	6,07	6,89	940	13,33
180	6,06	6,95	930	13,34
210	6,03	6,85	920	13,50
240	6,23	6,34	910	14,03

Tabla D-4-20-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,32	20,00	990	0,00
30	6,54	8,63	980	11,34
60	6,46	7,88	970	12,15
90	5,80	7,55	960	12,55
120	5,82	7,16	950	13,00
150	5,50	6,88	940	13,33
180	5,63	6,99	930	13,30
210	5,75	6,85	920	13,50
240	6,00	6,33	910	14,04

Tabla D-4-20-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F ⁻ /g Al ₂ O ₃)	t/qt
0	6,25	20,00	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	6,33	8,63	980	11,35	57,31	2,84	10,58
60	6,55	7,89	970	12,15	61,37	3,04	19,75
90	5,96	7,55	960	12,55	63,39	3,14	28,68
120	5,91	7,21	950	12,95	65,41	3,24	37,06
150	5,79	6,88	940	13,33	67,32	3,33	45,01
180	5,85	6,97	930	13,32	67,28	3,33	54,05
210	5,89	6,85	920	13,50	68,17	3,37	62,24
240	6,12	6,34	910	14,03	70,87	3,51	68,42

Tabla D-4-25-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos
0	6,60	23,83	990	0,00
30	6,25	14,53	980	9,36
60	6,08	13,70	970	10,30
90	6,25	13,43	960	10,70
120	6,36	13,19	950	11,06
150	6,53	12,99	940	11,38
180	6,76	12,90	930	11,59
210	6,84	12,89	920	11,73
240	6,90	12,61	910	12,12

Tabla D-4-25-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,03	23,73	990	0,00
30	7,02	14,68	980	9,11
60	6,89	13,79	970	10,11
90	6,86	13,63	960	10,41
120	6,41	13,21	950	10,94
150	6,55	13,02	940	11,26
180	6,21	12,94	930	11,46
210	6,44	12,93	920	11,60
240	6,67	12,72	910	11,91

Tabla D-4-25-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	6,82	23,78	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	6,64	14,60	980	9,23	39,21	2,31	13,00
60	6,49	13,75	970	10,21	43,36	2,55	23,51
90	6,56	13,53	960	10,55	44,83	2,64	34,12
120	6,39	13,20	950	11,00	46,72	2,75	43,64
150	6,54	13,00	940	11,32	48,09	2,83	53,00
180	6,49	12,92	930	11,53	48,96	2,88	62,47
210	6,64	12,91	920	11,67	49,56	2,92	72,00
240	6,79	12,66	910	12,02	51,04	3,00	79,89

Tabla D-8-2-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 1ª activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,36	1,97	990	0,00
30	5,25	0,36	980	1,59
60	5,25	0,36	970	1,60
90	5,13	0,31	960	1,64
120	5,00	0,31	950	1,65
150	5,12	0,31	940	1,65
180	5,30	0,31	930	1,66
210	5,24	0,31	920	1,66
240	5,22	0,31	910	1,67

Tabla D-8-2-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 1ª activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,65	1,98	990	0,00
30	5,20	0,38	980	1,57
60	5,50	0,34	970	1,61
90	5,18	0,34	960	1,62
120	5,40	0,32	950	1,64
150	5,35	0,30	940	1,66
180	5,30	0,30	930	1,67
210	5,24	0,29	920	1,68
240	5,22	0,29	910	1,68

Tabla D-8-2-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F ⁻ /g Al ₂ O ₃)	t/qt
0	6,51	1,97	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	5,23	0,37	980	1,58	81,31	0,20	151,87
60	5,38	0,35	970	1,61	82,61	0,20	298,91
90	5,16	0,33	960	1,63	83,88	0,20	441,59
120	5,20	0,32	950	1,64	84,58	0,21	583,87
150	5,24	0,31	940	1,66	85,25	0,21	724,10
180	5,30	0,30	930	1,66	85,59	0,21	865,37
210	5,24	0,30	920	1,67	85,84	0,21	1006,66
240	5,22	0,30	910	1,67	86,14	0,21	1146,53

Tabla D-8-5-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos
0	6,56	5,20	990	0,00
30	5,28	0,57	980	4,59
60	5,70	0,56	970	4,60
90	4,71	0,47	960	4,70
120	4,61	0,40	950	4,77
150	5,27	0,40	940	4,77
180	5,37	0,38	930	4,79
210	5,58	0,37	920	4,80
240	4,93	0,37	910	4,81

Tabla D-8-5-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 1ª activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	5,26	5,11	990	0,00
30	4,07	0,54	980	4,53
60	3,75	0,51	970	4,57
90	4,00	0,45	960	4,63
120	4,10	0,43	950	4,66
150	4,12	0,40	940	4,69
180	5,03	0,38	930	4,71
210	4,26	0,38	920	4,71
240	3,80	0,37	910	4,72

Tabla D-8-5-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 1ª activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	5,91	5,16	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	4,68	0,56	980	4,56	89,31	0,57	52,65
60	4,73	0,54	970	4,59	89,82	0,57	104,69
90	4,36	0,46	960	4,66	91,38	0,58	154,36
120	4,36	0,41	950	4,71	92,31	0,59	203,73
150	4,70	0,40	940	4,73	92,62	0,59	253,83
180	5,20	0,38	930	4,75	93,07	0,59	303,12
210	4,92	0,38	920	4,76	93,22	0,59	353,05
240	4,37	0,37	910	4,77	93,35	0,60	402,94

Tabla D-8-10-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,01	11,107	990	0,00
30	4,52	0,800	980	10,21
60	4,86	0,659	970	10,36
90	4,71	0,581	960	10,44
120	4,56	0,543	950	10,48
150	4,88	0,522	940	10,51
180	4,84	0,504	930	10,53
210	4,87	0,453	920	10,58
240	4,76	0,430	910	10,60

Tabla D-8-10-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	5,91	10,080	990	0,00
30	5,58	0,803	980	9,19
60	4,98	0,638	970	9,36
90	5,51	0,554	960	9,45
120	5,56	0,481	950	9,52
150	5,64	0,498	940	9,51
180	5,17	0,446	930	9,56
210	4,77	0,462	920	9,55
240	4,81	0,449	910	9,57

Tabla D-8-10-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	5,96	10,594	990	0,000	0,00	0,00	0,00
30	5,05	0,802	980	9,702	92,51	1,21	24,74
60	4,92	0,649	970	9,859	94,00	1,23	48,69
90	5,11	0,568	960	9,943	94,81	1,24	72,41
120	5,06	0,512	950	10,001	95,36	1,25	95,99
150	5,26	0,510	940	10,008	95,43	1,25	119,90
180	5,01	0,475	930	10,046	95,79	1,26	143,34
210	4,82	0,458	920	10,067	95,99	1,26	166,89
240	4,79	0,440	910	10,088	96,19	1,26	190,33

Tabla D-8-15-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,36	15,000	990	0,00
30	5,89	1,293	980	13,58
60	5,87	0,980	970	13,90
90	5,89	0,903	960	13,98
120	4,81	0,804	950	14,09
150	5,25	0,752	940	14,14
180	5,20	0,748	930	14,15
210	5,83	0,692	920	14,21
240	5,20	0,681	910	14,23

Tabla D-8-15-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,59	15,000	990	0,00
30	5,98	1,236	980	13,64
60	5,34	0,929	970	13,95
90	5,16	0,828	960	14,06
120	5,60	0,766	950	14,12
150	4,95	0,691	940	14,20
180	5,20	0,684	930	14,21
210	5,12	0,675	920	14,23
240	5,48	0,616	910	14,29

Tabla D-8-15-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	6,48	15,00	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	5,94	1,26	980	13,61	91,66	1,70	17,63
60	5,61	0,95	970	13,92	93,77	1,74	34,47
90	5,53	0,87	960	14,02	94,40	1,75	51,36
120	5,21	0,79	950	14,10	94,98	1,76	68,06
150	5,10	0,72	940	14,17	95,43	1,77	84,68
180	5,20	0,72	930	14,18	95,52	1,77	101,52
210	5,48	0,68	920	14,22	95,77	1,78	118,13
240	5,34	0,65	910	14,26	96,03	1,78	134,64

Tabla D-8-20-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,95	20,00	990	0,00
30	6,29	2,03	980	17,81
60	5,77	1,59	970	18,26
90	5,25	1,36	960	18,49
120	5,50	1,34	950	18,53
150	5,42	1,22	940	18,66
180	5,50	1,19	930	18,70
210	5,90	1,17	920	18,72
240	6,14	1,08	910	18,82

Tabla D-8-20-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	5,63	20,00	990	0,00
30	5,42	2,05	980	17,79
60	5,50	1,70	970	18,15
90	6,09	1,50	960	18,36
120	6,13	1,38	950	18,49
150	6,15	1,36	940	18,52
180	6,12	1,24	930	18,65
210	6,19	1,21	920	18,69
240	6,17	1,07	910	18,83

Tabla D-8-20-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- / g Al_2O_3)	t/qt
0	6,29	20,00	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	5,86	2,04	980	17,80	89,91	2,23	13,48
60	5,64	1,64	970	18,21	91,95	2,28	26,37
90	5,67	1,43	960	18,43	93,07	2,30	39,07
120	5,82	1,36	950	18,51	93,48	2,31	51,87
150	5,79	1,29	940	18,59	93,89	2,32	64,55
180	5,81	1,21	930	18,67	94,30	2,33	77,12
210	6,05	1,19	920	18,71	94,48	2,34	89,81
240	6,16	1,08	910	18,82	95,06	2,35	102,01

Tabla D-8-25-1-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 1º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,70	24,07	990	0,00
30	6,62	7,35	980	16,63
60	6,73	6,70	970	17,34
90	6,58	6,30	960	17,79
120	6,70	6,00	950	18,14
150	5,88	5,54	940	18,62
180	6,11	5,40	930	18,81
210	6,21	5,19	920	19,06
240	6,00	5,10	910	19,19

Tabla D-8-25-1-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 1º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,83	23,894	990	0,00
30	6,36	7,443	980	16,36
60	6,60	6,307	970	17,54
90	6,63	5,910	960	17,98
120	6,68	5,709	950	18,23
150	6,68	5,570	940	18,42
180	6,63	5,398	930	18,63
210	6,62	5,214	920	18,86
240	6,60	5,248	910	18,88

Tabla D-8-25-1-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 1º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos	Adsorción (%)	qt (mg F^- /g Al_2O_3)	t/qt
0	6,77	23,984	990	0,00	0,00	0,00	0,00
30	6,49	7,395	980	16,50	69,48	2,06	14,55
60	6,67	6,502	970	17,44	73,44	2,18	27,53
90	6,61	6,105	960	17,88	75,32	2,24	40,26
120	6,69	5,853	950	18,18	76,58	2,27	52,79
150	6,28	5,556	940	18,52	78,01	2,32	64,79
180	6,37	5,401	930	18,72	78,85	2,34	76,92
210	6,42	5,202	920	18,96	79,85	2,37	88,61
240	6,30	5,174	910	19,04	80,17	2,38	100,86

Tabla D-2-2-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,15	2,18	990	0,00
10	5,50	1,06	980	1,12
20	5,06	1,14	970	1,06
30	5,18	1,00	960	1,20
40	5,15	1,02	950	1,19
50	5,15	0,99	940	1,23
60	5,10	0,98	930	1,24
70	5,11	0,98	920	1,26
80	5,08	0,81	910	1,42

Tabla D-2-2-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,00	2,16	990	0,00
10	5,22	1,11	980	1,05
20	5,09	1,11	970	1,07
30	5,07	1,05	960	1,13
40	5,08	1,07	950	1,13
50	5,07	1,09	940	1,11
60	5,08	1,00	930	1,21
70	5,16	0,92	920	1,29
80	5,14	0,88	910	1,34

Tabla D-2-2-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,08	2,17	990	0,00
10	5,36	1,09	980	1,08
20	5,08	1,12	970	1,06
30	5,13	1,03	960	1,16
40	5,12	1,04	950	1,16
50	5,11	1,04	940	1,17
60	5,09	0,99	930	1,23
70	5,14	0,95	920	1,27
80	5,11	0,85	910	1,38

Tabla D-2-5-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,65	5,55	990	0,00
10	6,01	3,06	980	2,49
20	4,96	2,66	970	2,91
30	5,46	2,30	960	3,28
40	5,53	2,18	950	3,42
50	5,57	1,96	940	3,65
60	5,55	1,89	930	3,73
70	5,57	1,70	920	3,93
80	5,56	1,79	910	3,86

Tabla D-2-5-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 2ª activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,58	5,55	990	0,00
10	6,01	3,06	980	2,49
20	5,73	2,66	970	2,92
30	5,10	2,35	960	3,24
40	4,87	2,18	950	3,42
50	5,43	2,08	940	3,54
60	5,52	1,96	930	3,67
70	5,50	1,97	920	3,68
80	5,58	1,97	910	3,70

Tabla D-2-5-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 2ª activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,62	5,55	990	0,00
10	6,01	3,06	980	2,49
20	5,35	2,66	970	2,91
30	5,28	2,33	960	3,26
40	5,20	2,18	950	3,42
50	5,50	2,02	940	3,59
60	5,54	1,92	930	3,70
70	5,54	1,83	920	3,81
80	5,57	1,88	910	3,78

Tabla D-2-10-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	Volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,90	10,687	990	0,00
30	6,43	6,778	980	3,94
60	6,25	6,505	970	4,27
90	5,60	6,100	960	4,72
120	5,45	5,604	950	5,26
150	5,35	5,626	940	5,29
180	5,26	5,097	930	5,84
210	5,15	5,086	920	5,90
240	5,09	5,151	910	5,89

Tabla D-2-10-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,00	10,765	990	0,00
30	6,13	6,571	980	4,22
60	6,20	6,392	970	4,46
90	6,28	6,238	960	4,67
120	5,60	5,438	950	5,49
150	5,50	5,308	940	5,67
180	5,42	5,249	930	5,78
210	5,30	5,101	920	5,96
240	5,40	5,154	910	5,97

Tabla D-2-10-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,95	10,73	990	0,00
30	6,28	6,67	980	4,08
60	6,23	6,45	970	4,36
90	5,94	6,17	960	4,70
120	5,53	5,52	950	5,37
150	5,43	5,47	940	5,48
180	5,34	5,17	930	5,81
210	5,23	5,09	920	5,93
240	5,25	5,15	910	5,93

Tabla D-2-15-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	5,84	14,83	990	0,00
30	5,58	9,63	980	5,24
60	5,50	9,24	970	5,72
90	5,52	8,87	960	6,17
120	5,55	8,97	950	6,16
150	5,57	8,74	940	6,47
180	5,51	8,68	930	6,61
210	5,40	8,61	920	6,76
240	5,33	8,64	910	6,82

Tabla D-2-15-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,90	15,15	990	0,00
30	6,63	9,81	980	5,39
60	6,50	9,59	970	5,70
90	6,49	9,09	960	6,27
120	6,55	9,00	950	6,45
150	6,59	8,99	940	6,55
180	5,76	8,81	930	6,81
210	5,86	8,81	920	6,90
240	6,12	8,86	910	6,94

Tabla D-2-15-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,37	14,99	990	0,00
30	6,11	9,72	980	5,32
60	6,00	9,41	970	5,71
90	6,01	8,98	960	6,22
120	6,05	8,98	950	6,31
150	6,08	8,86	940	6,51
180	5,64	8,74	930	6,71
210	5,63	8,71	920	6,83
240	5,73	8,75	910	6,88

Tabla D-2-20-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	5,95	18,97	990	0,00
30	6,25	11,52	980	7,50
60	6,25	11,43	970	7,70
90	6,34	10,94	960	8,28
120	6,32	10,90	950	8,43
150	6,38	10,75	940	8,68
180	6,39	10,47	930	9,05
210	6,39	10,31	920	9,30
240	6,40	10,72	910	9,03

Tabla D-2-20-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,40	18,42	990	0,00
30	6,44	13,40	980	5,10
60	6,46	12,99	970	5,63
90	6,44	12,83	960	5,91
120	6,40	13,06	950	5,83
150	6,58	12,96	940	6,05
180	6,58	12,69	930	6,43
210	6,58	12,77	920	6,48
240	6,59	12,96	910	6,44

Tabla D-2-20-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,18	18,69	990	0,00
30	6,35	12,46	980	6,30
60	6,36	12,21	970	6,66
90	6,39	11,88	960	7,10
120	6,36	11,98	950	7,13
150	6,48	11,85	940	7,36
180	6,49	11,58	930	7,74
210	6,49	11,54	920	7,89
240	6,50	11,84	910	7,73

Tabla D-2-25-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,12	24,98	990	0,00
30	6,26	21,44	980	3,72
60	6,26	20,70	970	4,65
90	6,35	20,66	960	4,90
120	6,33	20,56	950	5,20
150	6,39	20,76	940	5,22
180	6,40	20,33	930	5,82
210	6,40	20,32	920	6,04
240	6,41	20,31	910	6,25

Tabla D-2-25-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,12	24,99	990	0,00
30	6,45	22,02	980	3,16
60	6,47	20,80	970	4,56
90	6,45	20,79	960	4,78
120	6,41	20,70	950	5,08
150	6,59	20,55	940	5,42
180	6,59	20,44	930	5,73
210	6,59	20,40	920	5,97
240	6,60	20,41	910	6,17

Tabla D-2-25-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,12	24,99	990	0,00
30	6,36	21,73	980	3,44
60	6,37	20,75	970	4,61
90	6,40	20,73	960	4,84
120	6,37	20,63	950	5,14
150	6,49	20,66	940	5,32
180	6,50	20,39	930	5,78
210	6,50	20,36	920	6,00
240	6,51	20,36	910	6,21

Tabla D-4-2-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 2ª activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,90	2,16	990	0,00
10	6,55	0,85	980	1,30
20	6,48	0,75	970	1,40
30	6,49	0,76	960	1,41
40	5,55	0,80	950	1,37
50	5,60	0,69	940	1,48
60	6,61	0,74	930	1,45
70	6,62	0,75	920	1,44
80	6,70	0,75	910	1,45

Tabla D-4-2-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 2ª activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,80	1,98	990	0,00
10	6,60	1,04	980	0,94
20	6,66	0,78	970	1,20
30	6,56	0,68	960	1,30
40	6,57	0,75	950	1,25
50	6,66	0,74	940	1,26
60	6,68	0,72	930	1,29
70	6,70	0,71	920	1,30
80	6,72	0,70	910	1,32

Tabla D-4-2-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 2ª activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,85	2,07	990	0,00
10	6,58	0,95	980	1,12
20	6,57	0,77	970	1,30
30	6,53	0,72	960	1,35
40	6,06	0,77	950	1,31
50	6,13	0,71	940	1,37
60	6,65	0,73	930	1,37
70	6,66	0,73	920	1,37
80	6,71	0,73	910	1,38

Tabla D-4-5-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 2ª activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,68	5,01	990	0,00
10	6,23	2,44	980	2,57
20	6,01	1,70	970	3,31
30	5,87	1,62	960	3,41
40	5,80	1,49	950	3,55
50	5,82	1,39	940	3,65
60	5,83	1,38	930	3,68
70	5,86	1,38	920	3,69
80	5,77	1,38	910	3,70

Tabla D-4-5-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 2ª activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,67	5,11	990	0,00
10	6,22	2,43	980	2,68
20	6,00	1,71	970	3,40
30	5,88	1,60	960	3,52
40	5,80	1,49	950	3,65
50	5,81	1,39	940	3,75
60	5,86	1,38	930	3,77
70	5,77	1,37	920	3,80
80	5,77	1,37	910	3,81

Tabla D-4-5-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 2ª activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,68	5,06	990	0,00
10	6,23	2,43	980	2,62
20	6,01	1,71	970	3,35
30	5,88	1,61	960	3,47
40	5,80	1,49	950	3,60
50	5,82	1,39	940	3,70
60	5,85	1,38	930	3,73
70	5,82	1,38	920	3,74
80	5,77	1,38	910	3,76

Tabla D-4-10-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,91	10,67	990	0,00
30	6,47	3,80	980	6,83
60	6,44	3,41	970	7,25
90	6,45	3,17	960	7,52
120	6,49	3,09	950	7,62
150	6,47	3,07	940	7,68
180	6,48	2,91	930	7,85
210	6,55	2,94	920	7,86
240	6,54	2,97	910	7,86

Tabla D-4-10-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,02	10,52	990	0,00
30	6,61	3,62	980	6,87
60	6,32	3,49	970	7,02
90	6,48	3,28	960	7,27
120	6,48	3,22	950	7,35
150	6,56	3,19	940	7,42
180	6,52	3,07	930	7,56
210	6,50	3,10	920	7,56
240	6,40	3,10	910	7,59

Tabla D-4-10-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,97	10,59	990	0,00
30	6,54	3,71	980	6,85
60	6,38	3,45	970	7,14
90	6,47	3,22	960	7,39
120	6,49	3,16	950	7,49
150	6,52	3,13	940	7,55
180	6,50	2,99	930	7,70
210	6,53	3,02	920	7,71
240	6,47	3,03	910	7,73

Tabla D-4-15-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,95	14,68	990	0,00
30	6,63	6,47	980	8,20
60	6,60	6,00	970	8,71
90	6,59	5,72	960	9,04
120	6,61	5,57	950	9,25
150	6,62	5,47	940	9,39
180	6,58	5,34	930	9,57
210	6,64	5,28	920	9,68
240	6,62	5,28	910	9,73

Tabla D-4-15-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,94	14,76	990	0,00
30	6,57	6,40	980	8,33
60	6,48	5,94	970	8,84
90	6,49	5,54	960	9,29
120	6,54	5,46	950	9,42
150	6,59	5,46	940	9,47
180	6,60	5,28	930	9,69
210	6,60	5,20	920	9,82
240	6,74	5,20	910	9,88

Tabla D-4-15-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,95	14,72	990	0,00
30	6,60	6,43	980	8,27
60	6,54	5,97	970	8,78
90	6,54	5,63	960	9,17
120	6,58	5,51	950	9,33
150	6,61	5,47	940	9,43
180	6,59	5,31	930	9,63
210	6,62	5,24	920	9,75
240	6,68	5,24	910	9,80

Tabla D-4-20-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos
0	7,00	18,84	990	0,00
30	5,96	12,62	980	6,28
60	5,79	11,85	970	7,15
90	5,70	11,37	960	7,73
120	5,70	11,00	950	8,20
150	5,65	10,99	940	8,31
180	5,66	10,72	930	8,68
210	5,67	10,22	920	9,24
240	5,72	10,07	910	9,49

Tabla D-4-20-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos
0	6,96	18,63	990	0,00
30	6,00	11,54	980	7,13
60	5,79	9,80	970	8,93
90	5,72	9,12	960	9,69
120	5,69	9,36	950	9,55
150	5,71	9,05	940	9,94
180	5,75	8,71	930	10,34
210	5,69	8,81	920	10,34
240	5,70	8,89	910	10,36

Tabla D-4-20-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,98	18,73	990	0,00
30	5,98	12,08	980	6,71
60	5,79	10,83	970	8,04
90	5,71	10,24	960	8,71
120	5,70	10,18	950	8,88
150	5,68	10,02	940	9,13
180	5,71	9,71	930	9,51
210	5,68	9,52	920	9,79
240	5,71	9,48	910	9,92

Tabla D-4-25-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,90	25,27	990	0,00
30	6,22	16,77	980	8,58
60	6,12	16,15	970	9,35
90	6,09	15,64	960	10,00
120	6,08	15,47	950	10,32
150	6,23	15,31	940	10,62
180	6,25	15,13	930	10,95
210	6,22	15,12	920	11,11
240	6,18	14,96	910	11,40

Tabla D-4-25-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,10	25,10	990	0,00
30	6,40	15,43	980	9,72
60	6,25	14,11	970	11,16
90	6,15	13,62	960	11,77
120	6,12	13,51	950	12,01
150	6,12	13,26	940	12,38
180	6,11	12,94	930	12,81
210	6,11	14,33	920	11,66
240	6,11	14,22	910	11,90

Tabla D-4-25-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,00	25,18	990	0,00
30	6,31	16,10	980	9,15
60	6,19	15,13	970	10,26
90	6,12	14,63	960	10,88
120	6,10	14,49	950	11,16
150	6,18	14,28	940	11,50
180	6,18	14,03	930	11,88
210	6,17	14,72	920	11,38
240	6,15	14,59	910	11,65

Tabla D-8-2-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 2ª activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,15	2,33	990	0,00
30	5,03	1,00	980	1,33
60	5,02	1,00	970	1,34
90	4,92	1,00	960	1,35
120	4,12	1,02	950	1,34
150	4,65	1,00	940	1,37
180	4,80	1,05	930	1,34
210	4,86	1,03	920	1,36
240	4,92	1,01	910	1,39

Tabla D-8-2-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 2ª activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,19	2,25	990	0,00
30	4,98	0,89	980	1,44
60	4,89	0,96	970	1,38
90	4,89	0,95	960	1,39
120	4,85	0,95	950	1,41
150	4,85	0,97	940	1,39
180	4,85	1,07	930	1,32
210	4,83	0,99	920	1,40
240	4,84	1,00	910	1,40

Tabla D-8-2-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,17	2,29	990	0,00
30	5,01	0,95	980	1,38
60	4,96	0,98	970	1,36
90	4,91	0,98	960	1,37
120	4,49	0,99	950	1,37
150	4,75	0,98	940	1,38
180	4,83	1,06	930	1,33
210	4,85	1,01	920	1,38
240	4,88	1,01	910	1,39

Tabla D-8-5-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,86	5,24	990	0,00
30	5,74	1,75	980	3,48
60	5,41	1,54	970	3,69
90	5,28	1,52	960	3,73
120	5,30	1,45	950	3,81
150	5,29	1,46	940	3,81
180	5,27	1,48	930	3,82
210	5,23	1,41	920	3,90
240	5,24	1,41	910	3,91

Tabla D-8-5-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,45	5,57	990	0,00
30	5,42	1,62	980	3,93
60	5,54	1,54	970	4,02
90	5,33	1,48	960	4,09
120	5,25	1,44	950	4,14
150	5,25	1,60	940	4,01
180	5,17	1,47	930	4,15
210	5,12	1,41	920	4,22
240	5,15	1,40	910	4,24

Tabla D-8-5-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,66	5,41	990	0,00
30	5,58	1,68	980	3,70
60	5,48	1,54	970	3,86
90	5,31	1,50	960	3,91
120	5,28	1,45	950	3,98
150	5,27	1,53	940	3,91
180	5,22	1,47	930	3,98
210	5,18	1,41	920	4,06
240	5,20	1,40	910	4,07

Tabla D-8-10-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,30	9,82	990	0,00
10	6,24	3,77	980	6,02
20	6,07	2,98	970	6,83
30	5,93	2,66	960	7,17
40	5,88	2,48	950	7,36
50	5,98	2,35	940	7,51
60	5,91	2,28	930	7,60
70	5,82	2,32	920	7,59
80	5,70	2,33	910	7,60

Tabla D-8-10-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,74	8,34	990	0,00
10	6,30	3,13	980	5,19
20	6,06	2,62	970	5,72
30	5,92	2,40	960	5,96
40	5,99	2,33	950	6,04
50	6,00	2,28	940	6,12
60	5,97	2,21	930	6,20
70	5,85	2,19	920	6,24
80	5,80	2,17	910	6,28

Tabla D-8-10-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,02	9,08	990	0,000
10	6,27	3,45	980	5,606
20	6,07	2,80	970	6,274
30	5,93	2,53	960	6,561
40	5,94	2,41	950	6,702
50	5,99	2,31	940	6,815
60	5,94	2,25	930	6,901
70	5,84	2,26	920	6,914
80	5,75	2,25	910	6,943

Tabla D-8-15-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,40	14,59	990	0,00
10	6,12	5,75	980	8,82
20	6,50	4,95	970	9,65
30	6,41	3,97	960	10,63
40	6,38	4,28	950	10,39
50	6,30	4,28	940	10,43
60	6,32	3,99	930	10,74
70	6,39	4,06	920	10,71
80	6,40	4,20	910	10,63

Tabla D-8-15-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,14	14,53	990	0,00
10	6,50	5,86	980	8,64
20	6,48	5,03	970	9,50
30	6,38	4,50	960	10,07
40	6,60	4,23	950	10,37
50	6,54	4,07	940	10,56
60	6,55	3,86	930	10,79
70	6,48	3,93	920	10,77
80	6,50	3,97	910	10,77

Tabla D-8-15-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,27	14,56	990	0,00
10	6,31	5,80	980	8,73
20	6,49	4,99	970	9,58
30	6,40	4,23	960	10,35
40	6,49	4,25	950	10,38
50	6,42	4,17	940	10,49
60	6,44	3,92	930	10,77
70	6,44	3,99	920	10,74
80	6,45	4,08	910	10,70

Tabla D-8-20-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,14	22,01	990	0,00
10	6,60	11,53	980	10,49
20	6,50	10,66	970	11,45
30	6,55	10,39	960	11,81
40	6,60	9,92	950	12,37
50	6,55	9,01	940	13,32
60	6,60	8,76	930	13,65
70	6,60	7,66	920	14,74
80	6,55	7,60	910	14,87

Tabla D-8-20-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,13	22,02	990	0,00
10	6,60	11,52	980	10,51
20	6,51	10,67	970	11,45
30	6,44	10,33	960	11,88
40	6,70	9,90	950	12,39
50	6,54	8,00	940	14,28
60	6,56	8,01	930	14,35
70	6,56	7,90	920	14,53
80	6,55	7,85	910	14,66

Tabla D-8-20-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,14	22,02	990	0,00
10	6,60	11,52	980	10,50
20	6,51	10,66	970	11,45
30	6,50	10,36	960	11,85
40	6,65	9,91	950	12,38
50	6,55	8,51	940	13,80
60	6,58	8,38	930	14,00
70	6,58	7,78	920	14,64
80	6,55	7,73	910	14,77

Tabla D-8-25-2-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 2º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,43	25,55	990	0,00
10	6,12	15,75	980	9,86
20	6,08	15,14	970	10,61
30	6,15	11,34	960	14,41
40	6,21	11,34	950	14,52
50	6,30	11,01	940	14,95
60	6,32	11,25	930	14,83
70	6,33	11,30	920	14,90
80	6,30	11,30	910	15,01

Tabla D-8-25-2-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 2º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,84	25,65	990	0,00
10	6,50	15,77	980	9,94
20	6,41	15,14	970	10,71
30	6,38	11,34	960	14,51
40	6,41	11,35	950	14,61
50	6,41	11,36	940	14,72
60	6,41	11,35	930	14,84
70	6,39	11,33	920	14,97
80	6,40	11,33	910	15,08

Tabla D-8-25-2-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 2º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,64	25,600	990	0,00
10	6,31	15,761	980	9,90
20	6,25	15,142	970	10,66
30	6,27	11,340	960	14,46
40	6,31	11,345	950	14,57
50	6,36	11,185	940	14,83
60	6,37	11,300	930	14,84
70	6,36	11,315	920	14,93
80	6,35	11,315	910	15,05

Tabla D-2-2-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,30	1,99	990	0,00
10	5,70	1,24	980	0,76
20	5,40	1,25	970	0,76
30	5,35	1,01	960	1,00
40	5,83	0,91	950	1,10
50	5,60	0,94	940	1,08
60	5,20	0,94	930	1,10
70	5,15	0,95	920	1,10
80	5,14	1,01	910	1,05

Tabla D-2-2-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,30	2,05	990	0,00
10	5,33	1,02	980	1,02
20	5,34	0,99	970	1,06
30	5,31	0,93	960	1,14
40	5,40	0,93	950	1,14
50	5,51	0,98	940	1,11
60	5,33	0,90	930	1,19
70	4,90	1,09	920	1,02
80	5,25	1,10	910	1,03

Tabla D-2-2-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,80	2,02	990	0,00
10	5,52	1,13	980	0,89
20	5,37	1,12	970	0,91
30	5,33	0,97	960	1,07
40	5,62	0,92	950	1,12
50	5,56	0,96	940	1,09
60	5,27	0,92	930	1,14
70	5,03	1,02	920	1,06
80	5,20	1,05	910	1,04

Tabla D-2-5-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,92	5,37	990	0,00
10	6,31	4,44	980	0,96
20	6,11	2,86	970	2,54
30	6,00	2,67	960	2,75
40	5,94	2,63	950	2,82
50	6,01	2,60	940	2,87
60	6,10	2,48	930	3,01
70	6,06	2,49	920	3,02
80	5,92	2,90	910	2,68

Tabla D-2-5-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 3ª activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,88	5,31	990	0,00
10	6,25	4,45	980	0,89
20	6,08	4,39	970	0,99
30	6,07	3,97	960	1,44
40	6,04	2,46	950	2,92
50	5,97	2,32	940	3,07
60	5,99	2,08	930	3,32
70	5,99	2,00	920	3,41
80	6,00	1,98	910	3,45

Tabla D-2-5-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 3ª activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,90	5,34	990	0,00
10	6,28	4,45	980	0,92
20	6,10	3,63	970	1,77
30	6,04	3,32	960	2,10
40	5,99	2,54	950	2,87
50	5,99	2,46	940	2,97
60	6,05	2,28	930	3,17
70	6,03	2,25	920	3,22
80	5,96	2,44	910	3,07

Tabla D-2-10-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	Volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,82	10,51	990	0,00
10	6,59	7,58	980	2,98
20	6,61	7,70	970	2,93
30	6,66	7,30	960	3,40
40	6,64	7,30	950	3,47
50	6,61	7,25	940	3,59
60	6,57	7,13	930	3,78
70	6,57	7,12	920	3,86
80	6,55	7,14	910	3,91

Tabla D-2-10-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,83	10,67	990	0,00
10	6,50	7,38	980	3,34
20	5,13	7,15	970	3,63
30	4,33	6,91	960	3,93
40	6,14	6,78	950	4,13
50	6,08	6,80	940	4,18
60	6,04	6,58	930	4,44
70	5,94	6,65	920	4,45
80	6,04	6,65	910	4,51

Tabla D-2-10-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,83	10,59	990	0,00
10	6,55	7,48	980	3,16
20	5,87	7,43	970	3,28
30	5,50	7,11	960	3,66
40	6,39	7,04	950	3,80
50	6,35	7,03	940	3,88
60	6,31	6,85	930	4,11
70	6,26	6,88	920	4,15
80	6,30	6,89	910	4,21

Tabla D-2-15-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,17	14,67	990	0,00
10	7,00	10,17	980	4,55
20	6,83	9,90	970	4,92
30	6,82	10,00	960	4,92
40	6,67	9,68	950	5,32
50	6,65	9,70	940	5,40
60	6,62	9,70	930	5,50
70	6,64	9,84	920	5,47
80	6,64	9,83	910	5,58

Tabla D-2-15-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,12	14,77	990	0,00
10	6,64	10,49	980	4,35
20	6,52	10,44	970	4,49
30	6,65	10,50	960	4,54
40	6,57	10,17	950	4,96
50	6,64	10,30	940	4,94
60	6,66	10,27	930	5,08
70	6,65	10,06	920	5,37
80	6,65	9,57	910	5,92

Tabla D-2-15-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,15	14,72	990	0,00
10	6,82	10,33	980	4,45
20	6,68	10,17	970	4,71
30	6,74	10,25	960	4,73
40	6,62	9,93	950	5,14
50	6,65	10,00	940	5,17
60	6,64	9,98	930	5,29
70	6,65	9,95	920	5,42
80	6,65	9,70	910	5,75

Tabla D-2-20-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,61	19,06	990	0,00
10	6,42	15,62	980	3,55
20	6,46	15,52	970	3,81
30	4,55	15,33	960	4,14
40	5,51	15,12	950	4,50
50	5,88	15,20	940	4,58
60	6,02	14,18	930	5,68
70	7,12	14,08	920	5,91
80	7,00	14,46	910	5,71

Tabla D-2-20-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,20	19,80	990	0,00
10	6,70	14,99	980	4,91
20	6,61	14,87	970	5,18
30	6,60	14,63	960	5,56
40	6,58	14,59	950	5,74
50	6,55	14,61	940	5,87
60	6,58	14,47	930	6,15
70	6,58	14,20	920	6,54
80	6,55	14,03	910	6,83

Tabla D-2-20-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,91	19,43	990	0,00
10	6,56	15,31	980	4,23
20	6,54	15,19	970	4,50
30	5,58	14,98	960	4,85
40	6,05	14,85	950	5,12
50	6,22	14,90	940	5,22
60	6,30	14,32	930	5,91
70	6,85	14,14	920	6,23
80	6,78	14,25	910	6,27

Tabla D-2-25-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,24	25,48	990	0,00
10	7,06	22,02	980	3,64
20	7,02	21,84	970	4,04
30	7,01	21,68	960	4,42
40	7,01	21,01	950	5,27
50	7,03	21,53	940	4,99
60	7,02	21,22	930	5,49
70	7,02	21,17	920	5,75
80	7,04	21,16	910	5,97

Tabla D-2-25-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,23	25,49	990	0,00
10	7,05	22,03	980	3,64
20	7,01	21,85	970	4,04
30	7,03	21,69	960	4,42
40	7,03	21,02	950	5,27
50	7,05	21,54	940	4,99
60	7,04	21,23	930	5,49
70	7,04	21,18	920	5,75
80	7,04	21,17	910	5,97

Tabla D-2-25-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=2 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,24	25,49	990	0,00
10	7,06	22,03	980	3,64
20	7,02	21,85	970	4,04
30	7,02	21,68	960	4,42
40	7,02	21,02	950	5,27
50	7,04	21,54	940	4,99
60	7,03	21,23	930	5,49
70	7,03	21,18	920	5,75
80	7,04	21,17	910	5,97

Tabla D-4-2-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,32	2,02	990	0,00
10	5,12	1,14	980	0,88
20	4,90	1,18	970	0,85
30	4,84	1,15	960	0,89
40	4,36	1,20	950	0,86
50	4,76	1,21	940	0,86
60	4,85	1,17	930	0,91
70	4,85	1,20	920	0,90
80	4,90	1,21	910	0,90

Tabla D-4-2-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,14	1,94	990	0,00
10	6,16	1,10	980	0,84
20	4,90	1,07	970	0,89
30	4,84	1,06	960	0,91
40	4,75	1,14	950	0,84
50	4,80	1,16	940	0,83
60	4,88	1,11	930	0,89
70	4,77	1,16	920	0,85
80	4,75	1,15	910	0,87

Tabla D-4-2-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,23	1,98	990	0,00
10	5,64	1,12	980	0,86
20	4,90	1,12	970	0,87
30	4,84	1,10	960	0,90
40	4,56	1,17	950	0,85
50	4,78	1,19	940	0,85
60	4,87	1,14	930	0,90
70	4,81	1,18	920	0,87
80	4,83	1,18	910	0,89

Tabla D-4-5-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,08	5,01	990	0,00
10	5,92	2,23	980	2,77
20	5,59	2,06	970	2,96
30	5,50	1,89	960	3,14
40	5,43	1,90	950	3,16
50	5,55	1,86	940	3,22
60	5,73	1,80	930	3,29
70	5,60	1,82	920	3,29
80	5,54	1,83	910	3,29

Tabla D-4-5-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,50	5,02	990	0,00
10	5,70	2,12	980	2,90
20	5,61	1,99	970	3,04
30	5,55	1,87	960	3,17
40	5,52	1,87	950	3,20
50	5,49	1,84	940	3,24
60	5,51	1,76	930	3,33
70	5,50	1,79	920	3,33
80	5,55	1,80	910	3,33

Tabla D-4-5-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,79	5,02	990	0,00
10	5,81	2,17	980	2,83
20	5,60	2,03	970	3,00
30	5,53	1,88	960	3,16
40	5,48	1,88	950	3,18
50	5,52	1,85	940	3,23
60	5,62	1,78	930	3,31
70	5,55	1,80	920	3,31
80	5,55	1,82	910	3,31

Tabla D-4-10-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,52	10,65	990	0,00
10	6,05	5,53	980	5,12
20	5,95	5,04	970	5,65
30	5,91	4,81	960	5,92
40	5,95	4,51	950	6,25
50	5,99	4,32	940	6,48
60	5,95	4,27	930	6,56
70	5,94	4,10	920	6,77
80	5,97	4,19	910	6,72

Tabla D-4-10-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,60	10,46	990	0,00
10	6,00	5,52	980	4,95
20	5,88	5,07	970	5,44
30	5,90	4,84	960	5,71
40	5,90	4,60	950	5,98
50	5,88	4,52	940	6,10
60	5,99	4,50	930	6,17
70	5,93	4,29	920	6,41
80	5,94	4,37	910	6,38

Tabla D-4-10-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,56	10,55	990	0,00
10	6,03	8,08	980	5,03
20	5,92	5,30	970	5,54
30	5,91	4,94	960	5,81
40	5,93	4,71	950	6,12
50	5,94	4,52	940	6,29
60	5,97	4,41	930	6,37
70	5,94	4,28	920	6,59
80	5,96	4,24	910	6,55

Tabla D-4-15-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,86	14,10	990	0,00
10	6,41	8,73	980	5,40
20	6,32	7,81	970	6,38
30	6,36	7,30	960	6,95
40	6,34	7,17	950	7,15
50	6,27	6,95	940	7,43
60	6,10	6,74	930	7,69
70	6,15	6,70	920	7,80
80	6,21	6,78	910	7,79

Tabla D-4-15-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,50	14,09	990	0,00
10	6,20	8,74	980	5,39
20	6,19	7,89	970	6,29
30	6,20	7,42	960	6,83
40	6,13	7,32	950	6,99
50	6,27	7,18	940	7,20
60	6,21	6,96	930	7,48
70	6,26	6,96	920	7,54
80	6,31	6,94	910	7,63

Tabla D-4-15-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,68	14,09	990	0,00
10	6,31	8,73	980	5,40
20	6,26	7,85	970	6,34
30	6,28	7,36	960	6,89
40	6,24	7,25	950	7,07
50	6,27	7,07	940	7,31
60	6,16	6,85	930	7,59
70	6,21	6,83	920	7,67
80	6,26	6,86	910	7,71

Tabla D-4-20-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,10	18,47	990	0,00
10	6,50	12,97	980	5,58
20	6,36	11,58	970	7,05
30	6,40	11,15	960	7,58
40	6,40	11,14	950	7,70
50	6,40	11,02	940	7,92
60	6,41	10,76	930	8,28
70	6,34	10,78	920	8,37
80	6,36	10,87	910	8,39

Tabla D-4-20-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,50	18,52	990	0,00
10	6,20	12,61	980	5,98
20	6,50	11,67	970	7,01
30	6,46	11,31	960	7,47
40	6,52	10,90	950	7,98
50	6,55	11,16	940	7,84
60	6,62	10,86	930	8,23
70	6,60	10,87	920	8,33
80	6,36	10,92	910	8,40

Tabla D-4-20-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,80	18,49	990	0,00
10	6,35	12,79	980	5,78
20	6,43	11,62	970	7,03
30	6,43	11,23	960	7,53
40	6,46	11,02	950	7,84
50	6,48	11,09	940	7,88
60	6,52	10,81	930	8,26
70	6,47	10,82	920	8,35
80	6,36	10,89	910	8,40

Tabla D-4-25-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,13	25,67	990	0,00
10	6,78	19,11	980	6,69
20	6,75	18,08	970	7,88
30	6,73	18,26	960	7,89
40	6,79	18,62	950	7,73
50	6,78	17,49	940	8,97
60	6,80	17,48	930	9,16
70	6,80	17,48	920	9,33
80	6,85	17,49	910	9,50

Tabla D-4-25-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos
0	7,14	25,68	990	0,00
10	6,79	19,12	980	6,69
20	6,76	18,09	970	7,88
30	6,74	18,27	960	7,89
40	6,80	18,63	950	7,73
50	6,79	17,50	940	8,97
60	6,81	17,49	930	9,16
70	6,81	17,49	920	9,34
80	6,86	17,50	910	9,50

Tabla D-4-25-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=4 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	F ⁻ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F ⁻ Adsorbidos
0	7,14	25,68	990	0,00
10	6,79	19,12	980	6,69
20	6,76	18,09	970	7,88
30	6,74	18,27	960	7,89
40	6,80	18,62	950	7,73
50	6,79	17,50	940	8,97
60	6,81	17,49	930	9,16
70	6,81	17,49	920	9,34
80	6,86	17,50	910	9,50

Tabla D-8-2-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,64	2,38	990	0,00
10	5,12	1,31	980	1,07
20	5,00	1,12	970	1,27
30	4,92	1,25	960	1,15
40	4,90	1,23	950	1,19
50	4,84	1,25	940	1,19
60	4,84	1,23	930	1,21
70	4,89	1,26	920	1,20
80	5,04	1,33	910	1,15

Tabla D-8-2-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,66	2,38	990	0,00
10	5,22	1,31	980	1,07
20	5,10	1,22	970	1,17
30	4,98	1,26	960	1,15
40	4,84	1,23	950	1,19
50	4,88	1,25	940	1,18
60	4,85	1,26	930	1,19
70	4,84	1,27	920	1,19
80	4,89	1,25	910	1,22

Tabla D-8-2-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=2 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,65	2,38	990	0,00
10	5,17	1,31	980	1,07
20	5,05	1,17	970	1,22
30	4,95	1,26	960	1,15
40	4,87	1,23	950	1,19
50	4,86	1,25	940	1,18
60	4,85	1,25	930	1,20
70	4,86	1,27	920	1,19
80	4,97	1,29	910	1,18

Tabla D-8-5-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,86	5,51	990	0,00
10	5,60	2,37	980	3,13
20	5,43	2,29	970	3,23
30	5,35	2,36	960	3,19
40	5,36	2,26	950	3,31
50	5,25	2,32	940	3,28
60	5,14	2,32	930	3,30
70	5,23	2,29	920	3,35
80	5,19	2,28	910	3,38

Tabla D-8-5-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,70	5,52	990	0,00
10	5,55	2,37	980	3,14
20	5,43	2,25	970	3,28
30	5,33	2,33	960	3,23
40	5,37	2,26	950	3,32
50	5,27	2,32	940	3,28
60	5,15	2,33	930	3,30
70	5,25	2,28	920	3,37
80	5,22	2,28	910	3,39

Tabla D-8-5-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=5 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,78	5,52	990	0,00
10	5,58	2,37	980	3,14
20	5,43	2,27	970	3,26
30	5,34	2,35	960	3,21
40	5,37	2,26	950	3,31
50	5,26	2,32	940	3,28
60	5,15	2,33	930	3,30
70	5,24	2,28	920	3,36
80	5,21	2,28	910	3,39

Tabla D-8-10-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,74	10,85	990	0,00
10	5,30	4,47	980	3,94
20	5,44	3,64	970	4,27
30	5,52	3,20	960	4,72
40	5,55	2,96	950	5,26
50	5,52	3,42	940	5,29
60	5,45	3,29	930	5,84
70	5,46	3,25	920	5,90
80	5,54	3,26	910	5,89

Tabla D-8-10-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,80	11,10	990	0,00
10	5,77	4,10	980	4,22
20	5,66	3,65	970	4,46
30	5,81	3,49	960	4,67
40	5,75	3,37	950	5,49
50	5,64	3,38	940	5,67
60	5,58	3,37	930	5,78
70	5,54	3,22	920	5,96
80	5,55	3,32	910	5,97

Tabla D-8-10-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=10 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,77	10,974	990	0,000
10	5,54	4,285	980	4,078
20	5,55	3,647	970	4,364
30	5,67	3,346	960	4,697
40	5,65	3,164	950	5,374
50	5,58	3,401	940	5,480
60	5,52	3,330	930	5,808
70	5,50	3,236	920	5,933
80	5,55	3,293	910	5,930

Tabla D-8-15-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,93	14,61	990	0,00
10	6,26	7,08	980	7,53
20	6,01	5,20	970	9,42
30	5,89	4,71	960	9,94
40	5,93	4,44	950	10,24
50	5,88	4,44	940	10,29
60	5,51	4,44	930	10,33
70	5,68	4,44	920	10,38
80	5,70	4,44	910	10,42

Tabla D-8-15-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	5,70	14,56	990	0,00
10	6,34	8,44	980	6,15
20	6,06	5,88	970	8,72
30	6,00	5,06	960	9,56
40	5,94	4,20	950	10,43
50	5,91	4,48	940	10,21
60	5,83	4,45	930	10,28
70	5,83	4,44	920	10,33
80	5,72	4,44	910	10,38

Tabla D-8-15-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=15 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,32	14,59	990	0,00
10	6,30	7,76	980	6,84
20	6,04	5,54	970	9,07
30	5,95	4,89	960	9,75
40	5,94	4,32	950	10,34
50	5,90	4,46	940	10,25
60	5,67	4,44	930	10,31
70	5,76	4,44	920	10,36
80	5,71	4,44	910	10,40

Tabla D-8-20-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,70	18,77	990	0,00
10	6,31	9,56	980	9,22
20	6,21	7,80	970	11,02
30	6,21	8,33	960	10,59
40	6,14	8,35	950	10,65
50	6,16	8,36	940	10,72
60	6,29	8,37	930	10,80
70	6,20	8,30	920	10,95
80	6,19	8,31	910	11,02

Tabla D-8-20-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,62	18,87	990	0,00
10	6,40	11,36	980	7,55
20	6,29	8,99	970	9,97
30	6,29	8,31	960	10,70
40	6,20	7,78	950	11,30
50	6,15	8,33	940	10,85
60	6,42	8,34	930	10,93
70	6,34	8,32	920	11,03
80	6,27	8,33	910	11,10

Tabla D-8-20-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=20 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	6,66	18,82	990	0,00
10	6,36	10,46	980	8,38
20	6,25	8,39	970	10,49
30	6,25	8,32	960	10,64
40	6,17	8,06	950	10,97
50	6,16	8,35	940	10,79
60	6,36	8,36	930	10,86
70	6,27	8,31	920	10,99
80	6,23	8,32	910	11,06

Tabla D-8-25-3-a

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 3º activación.

Muestra a.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,02	23,55	990	0,00
10	6,58	13,43	980	10,15
20	6,47	11,94	970	11,73
30	6,46	12,00	960	11,79
40	6,48	11,98	950	11,93
50	6,42	11,97	940	12,06
60	6,40	11,98	930	12,17
70	6,36	11,96	920	12,31
80	6,39	11,96	910	12,43

Tabla D-8-25-3-b

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 3º activación.

Muestra b.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,05	23,55	990	0,00
10	6,66	13,43	980	10,15
20	6,48	11,92	970	11,75
30	6,46	11,89	960	11,90
40	6,48	11,90	950	12,01
50	6,42	11,89	940	12,14
60	6,41	11,88	930	12,27
70	6,38	11,88	920	12,38
80	6,38	11,88	910	12,50

Tabla D-8-25-3-m

Datos experimentales Alúmina activa=8 g/L; concentración inicial de flúor=25 mg/L; 3º activación.

Medias.

Tiempo (min)	pH	$ \text{F}^- $ (mg/L)	volumen disolución (ml)	mg F^- Adsorbidos
0	7,04	23,550	990	0,00
10	6,62	13,434	980	10,15
20	6,48	11,931	970	11,74
30	6,46	11,945	960	11,85
40	6,48	11,940	950	11,97
50	6,42	11,930	940	12,10
60	6,41	11,930	930	12,22
70	6,37	11,920	920	12,35
80	6,39	11,920	910	12,47

ANEXOS 2: DATOS DE OPERACIÓN EN CONTINUO

11.2. DATOS DE OPERACIÓN EN CONTINUO

Tabla C-5-20-1

Datos experimentales: Alúmina activa=5 g; Alimentación=20 mg/L; 1ª activación.

h=	5,5 cm	0,055 m
Q=	0,0155 L/min	
Co=	19,72 ppm	
volumen de lecho=	4E-05 m ³	0,037 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F- (ppm)	Vol. circulado (L)	F- (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F- retenido (mg)	qt (mg F- /g Al ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	5,02	0,51	0,93	-	0,00	0,03	18,33	3,67	25,42
90	6,30	5,08	1,40	1,30	0,93	0,26	26,20	5,24	38,14
120	6,75	16,97	1,86	5,13	3,45	0,86	30,24	6,05	50,85
150	7,00	18,49	2,33	8,25	6,31	0,94	31,17	6,23	63,56
180	7,04	18,73	2,79	8,65	8,36	0,95	31,68	6,34	76,27
210	7,02	18,81	3,26	8,73	9,85	0,95	32,12	6,42	88,98
240	7,12	18,81	3,72	8,75	10,97	0,95	32,54	6,51	101,70
270	6,97	18,93	4,19	8,77	11,85	0,96	32,93	6,59	114,41
300	7,01	18,94	4,65	8,80	12,55	0,96	33,30	6,66	127,12
330	7,04	18,95	5,12	8,81	13,13	0,96	33,66	6,73	139,83
360	6,90	19,01	5,58	8,82	13,62	0,96	34,00	6,80	152,54
390	6,83	19,10	6,05	8,86	14,04	0,97	34,31	6,86	165,26
420	6,89	19,12	6,51	8,89	14,40	0,97	34,59	6,92	177,97

Tabla C-10-20-1

Datos experimentales: Alúmina activa=10 g; Alimentación=20 mg/L; 1º activación.

h=	11 cm	0,11 m
Q=	0,0145 L/min	
Co=	19,73 ppm	
volumen de lecho=	7E-05 m ³	0,0732 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	5,45	0,18	0,87	-	0,00	0,01	17,16	1,72	11,89
90	5,23	0,35	1,31	0,12	0,09	0,02	25,62	2,56	17,84
120	5,42	2,59	1,74	0,64	0,44	0,13	33,56	3,36	23,78
150	6,00	19,00	2,18	4,70	2,51	0,96	37,45	3,74	29,73
180	7,39	19,00	2,61	8,27	5,26	0,96	37,76	3,78	35,68
210	7,33	19,01	3,05	8,27	7,22	0,96	38,08	3,81	41,62
240	7,25	19,00	3,48	8,27	8,69	0,96	38,39	3,84	47,57
270	7,21	19,29	3,92	8,33	9,85	0,98	38,64	3,86	53,51
300	7,30	19,32	4,35	8,40	10,80	0,98	38,82	3,88	59,46
330	7,40	19,46	4,79	8,43	11,58	0,99	38,97	3,90	65,41
360	7,50	19,49	5,22	8,47	12,24	0,99	39,08	3,91	71,35
390	7,49	19,57	5,66	8,50	12,80	0,99	39,16	3,92	77,30
420	7,48	19,45	6,09	8,49	13,28	0,99	39,26	3,93	83,24
450	7,49	19,38	6,53	8,44	13,69	0,98	39,39	3,94	89,19
480	7,45	19,46	6,96	8,45	14,05	0,99	39,53	3,95	95,14

Tabla C-15-20-1

Datos experimentales: Alúmina activa=15 g; Alimentación=20 mg/L; 1º activación.

h=	17 cm	0,17 m
Q=	0,0135 L/min	
Co=	19,20 ppm	
volumen de lecho=	0,0001 m ³	0,1131 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	5,03	0,17	0,81	-	0,00	0,01	15,58	1,04	7,18
90	5,04	0,15	1,22	0,06	0,05	0,01	23,31	1,55	10,77
120	4,60	0,13	1,62	0,06	0,07	0,01	31,04	2,07	14,36
150	4,70	0,20	2,03	0,07	0,09	0,01	38,77	2,58	17,94
180	4,73	0,39	2,43	0,12	0,13	0,02	46,44	3,10	21,53
210	6,30	4,24	2,84	0,94	0,44	0,22	53,29	3,55	25,12
240	7,00	16,18	3,25	4,14	1,66	0,84	56,94	3,80	28,71
270	7,02	17,84	3,65	6,90	3,37	0,93	57,83	3,86	32,30
300	7,03	18,65	4,06	7,40	4,85	0,97	58,22	3,88	35,89
330	7,22	18,56	4,46	7,55	6,10	0,97	58,46	3,90	39,48
360	7,23	18,64	4,87	7,55	7,14	0,97	58,71	3,91	43,07
390	6,75	18,67	5,28	7,57	8,03	0,97	58,93	3,93	46,66
420	6,94	18,72	5,68	7,59	8,79	0,97	59,13	3,94	50,24
450	7,02	18,70	6,09	7,59	9,45	0,97	59,33	3,96	53,83
480	6,60	18,70	6,49	7,59	10,03	0,97	59,54	3,97	57,42
510	6,71	18,70	6,90	7,59	10,54	0,97	59,74	3,98	61,01
540	6,74	18,80	7,30	7,61	11,00	0,98	59,92	3,99	64,60
570	6,76	18,80	7,71	7,63	11,41	0,98	60,09	4,01	68,19
600	6,70	18,70	8,12	7,61	11,77	0,97	60,27	4,02	71,78
630	6,74	18,69	8,52	7,59	12,10	0,97	60,47	4,03	75,37
660	6,80	18,65	8,93	7,58	12,40	0,97	60,69	4,05	78,96
690	7,01	18,70	9,33	7,58	12,68	0,97	60,90	4,06	82,54
720	6,95	18,82	9,74	7,61	12,93	0,98	61,08	4,07	86,13
750	7,04	18,70	10,14	7,61	13,16	0,97	61,26	4,08	89,72
780	7,20	18,69	10,55	7,59	13,37	0,97	61,47	4,10	93,31
810	7,18	18,70	10,96	7,59	13,57	0,97	61,67	4,11	96,90
840	7,22	18,75	11,36	7,60	13,76	0,98	61,87	4,12	100,49
870	7,22	19,10	11,77	7,68	13,93	0,99	61,98	4,13	104,08

Tabla C-5-15-1

Datos experimentales: Alúmina activa=5 g; Alimentación=15 mg/L; 1º activación.

h=	5,5 cm	0,055 m
Q=	0,0147 L/min	
Co=	14,2 ppm	
volumen de lecho=	4E-05 m ³	0,0366 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F ⁻ retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	6,06	0,21	0,88	-	0,00	0,01	12,56	2,51	24,18
90	6,83	2,88	1,33	0,68	0,52	0,20	18,16	3,63	36,27
120	6,92	11,45	1,77	3,17	2,18	0,81	21,27	4,25	48,36
150	6,95	12,22	2,21	5,23	4,11	0,86	22,32	4,46	60,46
180	6,95	13,77	2,65	5,75	5,59	0,97	22,85	4,57	72,55
210	6,65	13,80	3,10	6,10	6,76	0,97	23,04	4,61	84,64
240	6,94	13,89	3,54	6,12	7,65	0,98	23,19	4,64	96,73
270	7,07	14,01	3,98	6,17	8,35	0,99	23,30	4,66	108,82
300	6,95	13,87	4,42	6,16	8,90	0,98	23,42	4,68	120,91
330	6,85	13,62	4,87	6,08	9,34	0,96	23,62	4,72	133,00
360	6,98	13,46	5,31	5,99	9,69	0,95	23,91	4,78	145,09
390	6,93	13,65	5,75	6,00	9,99	0,96	24,20	4,84	157,18
420	6,80	13,74	6,19	6,06	10,26	0,97	24,42	4,88	169,27
450	6,50	14,02	6,63	6,14	10,50	0,99	24,56	4,91	181,37
480	6,60	14,03	7,08	6,20	10,72	0,99	24,64	4,93	193,46
510	6,40	14,15	7,52	6,23	10,92	1,00	24,69	4,94	205,55
540	6,77	14,33	7,96	6,30	11,10	1,01	24,67	4,93	217,64
570	6,60	14,31	8,40	6,33	11,27	1,01	24,62	4,92	229,73
600	7,00	14,18	8,85	6,30	11,42	1,00	24,60	4,92	241,82
630	7,06	14,17	9,29	6,27	11,55	1,00	24,61	4,92	253,91
660	7,00	14,16	9,73	6,26	11,67	1,00	24,63	4,93	266,00

Tabla C-10-15-1

Datos experimentales: Alúmina activa=10 g; Alimentación=15 mg/L; 1º activación.

h=	11 cm	0,11 m
Q=	0,0143 L/min	
Co=	14,363 ppm	
volumen de lecho=	7E-05 m ³	0,0732 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F ⁻ retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	4,15	0,27	0,86	-	0,00	0,02	12,28	1,23	11,69
90	4,10	0,26	1,28	0,11	0,09	0,02	18,31	1,83	17,53
120	4,17	0,36	1,71	0,13	0,14	0,03	24,32	2,43	23,38
150	4,20	0,45	2,14	0,17	0,20	0,03	30,28	3,03	29,22
180	4,80	0,65	2,57	0,23	0,26	0,05	36,19	3,62	35,07
210	6,08	9,12	2,99	2,09	0,92	0,63	40,25	4,02	40,91
240	6,25	13,23	3,42	4,78	2,20	0,92	41,61	4,16	46,75
270	6,37	13,75	3,85	5,77	3,45	0,96	41,98	4,20	52,60
300	6,32	13,79	4,28	5,89	4,48	0,96	42,24	4,22	58,44
330	6,43	13,99	4,70	5,94	5,34	0,97	42,44	4,24	64,29
360	6,44	14,06	5,13	6,00	6,06	0,98	42,59	4,26	70,13
390	6,50	14,12	5,56	6,03	6,68	0,98	42,70	4,27	75,97
420	6,63	14,01	5,99	6,01	7,21	0,98	42,83	4,28	81,82
450	6,49	14,17	6,41	6,02	7,67	0,99	42,95	4,29	87,66
480	6,50	14,02	6,84	6,03	8,07	0,98	43,06	4,31	93,51
510	6,60	14,11	7,27	6,01	8,42	0,98	43,19	4,32	99,35
540	6,25	14,25	7,70	6,06	8,74	0,99	43,27	4,33	105,20
570	6,13	14,05	8,12	6,05	9,02	0,98	43,37	4,34	111,04
600	5,98	14,09	8,55	6,02	9,28	0,98	43,49	4,35	116,88
630	6,12	14,51	8,98	6,11	9,52	1,01	43,52	4,35	122,73
660	6,23	14,15	9,41	6,13	9,73	0,99	43,53	4,35	128,57

Tabla C-15-15-1

Datos experimentales: Alúmina activa=15 g; Alimentación=15 mg/L; 1º activación.

h=	17 cm	0,17 m
Q=	0,0132 L/min	
Co=	14,788 ppm	
volumen de lecho=	0,0001 m ³	0,1131 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F ⁻ retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	4,59	0,17	0,79	-	0,00	0,01	11,75	0,78	7,03
90	4,66	0,17	1,19	0,07	0,06	0,01	17,55	1,17	10,54
120	4,66	0,15	1,59	0,06	0,08	0,01	23,36	1,56	14,05
150	4,72	0,14	1,99	0,06	0,09	0,01	29,18	1,95	17,56
180	4,70	0,19	2,38	0,06	0,11	0,01	34,99	2,33	21,08
210	4,80	0,22	2,78	0,08	0,12	0,01	40,78	2,72	24,59
240	4,64	0,30	3,18	0,10	0,14	0,02	46,55	3,10	28,10
270	5,00	0,50	3,57	0,16	0,17	0,03	52,27	3,48	31,62
300	6,05	6,30	3,97	1,35	0,49	0,43	56,79	3,79	35,13
330	6,02	11,47	4,37	3,53	1,25	0,78	59,14	3,94	38,64
360	5,90	12,67	4,77	4,79	2,15	0,86	60,22	4,01	42,15
390	6,00	13,05	5,16	5,11	2,98	0,88	60,99	4,07	45,67
420	6,11	13,24	5,56	5,22	3,70	0,90	61,64	4,11	49,18
450	6,01	13,42	5,96	5,29	4,34	0,91	62,22	4,15	52,69
480	5,90	13,33	6,35	5,31	4,91	0,90	62,78	4,19	56,21
510	5,78	13,43	6,75	5,31	5,41	0,91	63,34	4,22	59,72
540	5,85	13,36	7,15	5,32	5,85	0,90	63,89	4,26	63,23
570	6,05	13,54	7,55	5,34	6,25	0,92	64,42	4,29	66,74
600	6,05	13,64	7,94	5,40	6,62	0,92	64,90	4,33	70,26
630	5,88	13,57	8,34	5,40	6,95	0,92	65,37	4,36	73,77
660	6,10	13,67	8,74	5,41	7,25	0,92	65,83	4,39	77,28
690	5,95	13,68	9,14	5,43	7,53	0,93	66,28	4,42	80,80
720	5,99	13,48	9,53	5,39	7,78	0,91	66,76	4,45	84,31
750	6,00	13,95	9,93	5,45	8,02	0,94	67,18	4,48	87,82
780	6,02	14,09	10,33	5,57	8,25	0,95	67,49	4,50	91,33
810	6,05	14,34	10,72	5,64	8,47	0,97	67,72	4,51	94,85
840	6,11	13,72	11,12	5,57	8,67	0,93	68,02	4,53	98,36
870	6,10	13,79	11,52	5,46	8,85	0,93	68,43	4,56	101,87
900	6,20	13,89	11,92	5,50	9,01	0,94	68,81	4,59	105,39
930	6,01	13,84	12,31	5,51	9,17	0,94	69,18	4,61	108,90

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F ⁻ (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F ⁻ retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
960	6,00	14,01	12,71	5,53	9,32	0,95	69,52	4,63	112,41
990	6,00	13,94	13,11	5,55	9,46	0,94	69,84	4,66	115,92
1020	5,80	13,82	13,50	5,51	9,59	0,93	70,21	4,68	119,44
1050	5,92	13,89	13,90	5,50	9,71	0,94	70,58	4,71	122,95
1080	5,88	13,95	14,30	5,53	9,83	0,94	70,92	4,73	126,46
1110	5,86	14,70	14,70	5,69	9,95	0,99	71,11	4,74	129,98
1140	5,90	14,35	15,09	5,77	10,07	0,97	71,21	4,75	133,49
1170	6,08	14,44	15,49	5,72	10,18	0,98	71,37	4,76	137,00
1200	5,97	14,33	15,89	5,71	10,29	0,97	71,53	4,77	140,51
1230	5,90	14,25	16,28	5,68	10,38	0,96	71,73	4,78	144,03

Tabla C-5-10-1

Datos experimentales: Alúmina activa=5 g; Alimentación=10 mg/L; 1º activación.

h=	5,5 cm	0,055 m
Q=	0,0163 L/min	
Co=	10,77 ppm	
volumen de lecho=	4E-05 m ³	0,0366 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F ⁻ retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	5,90	0,52	0,98	-	0,00	0,05	10,52	2,10	26,70
90	6,60	2,54	1,46	0,75	0,51	0,24	15,04	3,01	40,04
120	7,20	8,42	1,95	2,68	1,75	0,78	17,62	3,52	53,39
150	7,36	9,86	2,44	4,46	3,23	0,91	18,42	3,68	66,74
180	7,35	9,98	2,93	4,84	4,34	0,93	18,84	3,77	80,09
210	7,42	10,21	3,42	4,93	5,17	0,95	19,17	3,83	93,43
240	7,40	10,32	3,91	5,01	5,80	0,96	19,42	3,88	106,78
270	7,30	10,21	4,39	5,01	6,30	0,95	19,67	3,93	120,13
300	7,30	10,32	4,88	5,01	6,70	0,96	19,91	3,98	133,48
330	7,31	10,48	5,37	5,08	7,03	0,97	20,09	4,02	146,83
360	7,34	10,49	5,86	5,12	7,32	0,97	20,24	4,05	160,17
390	7,20	10,49	6,35	5,12	7,56	0,97	20,37	4,07	173,52
420	7,00	10,68	6,84	5,17	7,78	0,99	20,47	4,09	186,87
450	7,17	10,65	7,32	5,21	7,97	0,99	20,52	4,10	200,22
480	7,18	10,54	7,81	5,17	8,14	0,98	20,61	4,12	213,57
510	7,15	10,69	8,30	5,18	8,28	0,99	20,69	4,14	226,91
540	7,16	10,50	8,79	5,17	8,41	0,97	20,77	4,15	240,26
570	7,14	10,66	9,28	5,16	8,52	0,99	20,87	4,17	253,61

Tabla C-10-10-1

Datos experimentales: Alúmina activa=10 g; Alimentación=10 mg/L; 1º activación.

h=	11 cm	0,11 m
Q=	0,0151 L/min	
Co=	10,894 ppm	
volumen de lecho=	7E-05 m ³	0,0732 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F ⁻ retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	4,04	0,65	0,90	-	0,00	0,06	9,86	0,99	12,37
90	4,13	0,36	1,36	0,23	0,17	0,03	14,55	1,46	18,55
120	4,77	0,41	1,81	0,17	0,22	0,04	19,31	1,93	24,73
150	5,40	0,68	2,26	0,25	0,29	0,06	23,99	2,40	30,91
180	6,28	5,82	2,71	1,47	0,78	0,53	27,44	2,74	37,10
210	6,42	8,84	3,17	3,31	1,72	0,81	29,06	2,91	43,28
240	6,80	9,93	3,62	4,24	2,68	0,91	29,74	2,97	49,46
270	6,81	10,04	4,07	4,52	3,49	0,92	30,15	3,02	55,64
300	6,80	9,86	4,52	4,50	4,13	0,90	30,58	3,06	61,83
330	6,77	9,92	4,98	4,47	4,66	0,91	31,03	3,10	68,01
360	6,80	10,31	5,43	4,57	5,11	0,95	31,39	3,14	74,19
390	6,80	9,97	5,88	4,58	5,50	0,91	31,73	3,17	80,37
420	6,86	10,43	6,33	4,61	5,83	0,96	32,04	3,20	86,56
450	6,78	10,52	6,78	4,74	6,14	0,97	32,24	3,22	92,74
480	6,83	10,44	7,24	4,74	6,41	0,96	32,43	3,24	98,92
510	6,88	10,55	7,69	4,75	6,65	0,97	32,61	3,26	105,10
540	6,77	10,68	8,14	4,80	6,87	0,98	32,73	3,27	111,29
570	6,75	10,59	8,59	4,81	7,07	0,97	32,85	3,28	117,47
600	6,80	11,00	9,05	4,88	7,26	1,01	32,89	3,29	123,65
630	6,80	10,53	9,50	4,87	7,43	0,97	32,95	3,30	129,83
660	6,79	10,72	9,95	4,81	7,57	0,98	33,07	3,31	136,02
690	6,78	10,62	10,40	4,83	7,71	0,97	33,17	3,32	142,20
720	6,77	10,70	10,86	4,82	7,83	0,98	33,28	3,33	148,38
750	6,79	10,70	11,31	4,84	7,94	0,98	33,37	3,34	154,57

Tabla C-15-10-1

Datos experimentales: Alúmina activa=15 g; Alimentación=10 mg/L; 1º activación.

h=	17 cm	0,17 m
Q=	0,0139 L/min	
Co=	10,53 ppm	
volumen de lecho=	0,0001 m ³	0,1131 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F ⁻ retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	4,40	0,30	0,83	-	0,00	0,03	8,79	0,59	7,38
90	4,20	0,19	1,25	0,10	0,08	0,02	13,08	0,87	11,07
120	4,18	0,18	1,67	0,08	0,11	0,02	17,40	1,16	14,76
150	4,09	0,15	2,09	0,07	0,12	0,01	21,72	1,45	18,45
180	4,05	0,14	2,50	0,06	0,12	0,01	26,05	1,74	22,14
210	4,01	0,15	2,92	0,06	0,12	0,01	30,39	2,03	25,83
240	4,00	0,18	3,34	0,07	0,13	0,02	34,71	2,31	29,52
270	4,28	0,19	3,75	0,08	0,14	0,02	39,03	2,60	33,21
300	5,00	2,30	4,17	0,52	0,25	0,22	42,90	2,86	36,90
330	5,40	6,57	4,59	1,85	0,63	0,62	45,45	3,03	40,59
360	6,21	7,17	5,01	2,86	1,15	0,68	46,98	3,13	44,28
390	6,00	8,86	5,42	3,34	1,67	0,84	48,03	3,20	47,97
420	6,05	9,02	5,84	3,73	2,19	0,86	48,69	3,25	51,65
450	6,30	8,79	6,26	3,71	2,64	0,83	49,37	3,29	55,34
480	5,60	9,04	6,67	3,72	3,03	0,86	50,04	3,34	59,03
510	5,90	9,23	7,09	3,81	3,39	0,88	50,63	3,38	62,72
540	5,62	9,29	7,51	3,86	3,72	0,88	51,16	3,41	66,41
570	5,90	9,29	7,93	3,88	4,01	0,88	51,67	3,44	70,10
600	5,90	9,70	8,34	3,96	4,29	0,92	52,11	3,47	73,79
630	6,20	9,55	8,76	4,01	4,54	0,91	52,48	3,50	77,48
660	5,90	9,66	9,18	4,01	4,77	0,92	52,87	3,52	81,17
690	6,00	9,70	9,59	4,04	4,98	0,92	53,23	3,55	84,86
720	6,10	9,89	10,01	4,08	5,18	0,94	53,54	3,57	88,55
750	6,00	9,76	10,43	4,10	5,37	0,93	53,83	3,59	92,24
780	6,01	9,94	10,85	4,11	5,54	0,94	54,12	3,61	95,93
810	6,25	9,96	11,26	4,15	5,70	0,95	54,36	3,62	99,62
840	6,00	9,37	11,68	4,03	5,85	0,89	54,72	3,65	103,31
870	6,05	9,76	12,10	3,99	5,97	0,93	55,13	3,68	107,00
900	6,08	9,99	12,51	4,12	6,10	0,95	55,40	3,69	110,69
930	6,00	10,02	12,93	4,17	6,23	0,95	55,62	3,71	114,38

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F ⁻ (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F ⁻ retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
960	6,30	10,38	13,35	4,26	6,35	0,99	55,76	3,72	118,07
990	5,90	9,96	13,77	4,24	6,47	0,95	55,91	3,73	121,76
1020	5,65	10,05	14,18	4,17	6,57	0,95	56,13	3,74	125,45
1050	5,68	10,18	14,60	4,22	6,67	0,97	56,30	3,75	129,14
1080	5,70	10,26	15,02	4,26	6,77	0,97	56,43	3,76	132,83
1110	5,70	9,79	15,44	4,18	6,86	0,93	56,64	3,78	136,52
1140	5,76	10,26	15,85	4,18	6,94	0,97	56,85	3,79	140,21
1170	5,90	10,35	16,27	4,30	7,03	0,98	56,95	3,80	143,90
1200	5,62	10,18	16,69	4,28	7,11	0,97	57,06	3,80	147,59
1230	5,93	10,02	17,10	4,21	7,18	0,95	57,24	3,82	151,27
1260	5,86	10,43	17,52	4,26	7,26	0,99	57,37	3,82	154,96
1290	5,88	10,24	17,94	4,31	7,33	0,97	57,45	3,83	158,65
1320	6,00	10,32	18,36	4,29	7,40	0,98	57,56	3,84	162,34
1350	6,10	10,49	18,77	4,34	7,46	1,00	57,61	3,84	166,03
1380	5,88	10,46	19,19	4,37	7,53	0,99	57,64	3,84	169,72
1410	5,73	10,31	19,61	4,33	7,59	0,98	57,70	3,85	173,41
1440	5,80	10,31	20,02	4,30	7,65	0,98	57,79	3,85	177,10

Tabla C-5-20-2

Datos experimentales: Alúmina activa=5 g; Alimentación=20 mg/L; 2ª activación.

h=	5,5 cm	0,055 m
Q=	0,0155 L/min	
Co=	23,57 ppm	
volumen de lecho=	4E-05 m ³	0,037 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	7,00	0,60	0,93	-	0,00	0,03	21,92	4,38	25,42
90	6,93	18,84	1,40	4,52	3,24	0,80	28,36	5,67	38,14
120	6,97	20,48	1,86	9,14	7,35	0,87	30,18	6,04	50,85
150	7,04	21,40	2,33	9,74	10,06	0,91	31,40	6,28	63,56
180	7,02	21,41	2,79	9,95	11,95	0,91	32,41	6,48	76,27
210	6,97	20,80	3,26	9,81	13,26	0,88	33,56	6,71	88,98
240	6,97	20,49	3,72	9,60	14,18	0,87	34,92	6,98	101,70
270	6,86	20,71	4,19	9,58	14,90	0,88	36,30	7,26	114,41
300	6,85	20,77	4,65	9,64	15,48	0,88	37,62	7,52	127,12
330	6,90	20,77	5,12	9,66	15,96	0,88	38,92	7,78	139,83
360	6,93	20,72	5,58	9,65	16,36	0,88	40,23	8,05	152,54
390	6,92	20,72	6,05	9,64	16,70	0,88	41,56	8,31	165,26
420	6,92	20,72	6,51	9,64	16,98	0,88	42,88	8,58	177,97
450	6,92	20,85	6,98	9,67	17,24	0,88	44,18	8,84	190,68
480	6,91	20,73	7,44	9,67	17,46	0,88	45,47	9,09	203,39
510	6,92	20,74	7,91	9,64	17,65	0,88	46,79	9,36	216,10
540	6,91	20,74	8,37	9,64	17,82	0,88	48,11	9,62	228,82

Tabla C-10-20-2

Datos experimentales: Alúmina activa=10 g; Alimentación=20 mg/L; 2º activación.

h=	11 cm	0,11 m
Q=	0,0138 L/min	
Co=	21,76 ppm	
volumen de lecho=	7E-05 m ³	0,0732 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	4,76	1,34	0,83	-	0,00	0,06	17,96	1,80	11,29
90	4,20	1,31	1,24	4,77	3,85	0,06	22,18	2,22	16,93
120	4,90	14,47	1,65	4,77	5,77	0,66	26,39	2,64	22,57
150	5,30	20,45	2,06	0,55	4,88	0,94	34,83	3,48	28,22
180	6,38	21,29	2,48	3,26	5,38	0,98	40,55	4,06	33,86
210	6,74	21,49	2,89	7,21	7,11	0,99	42,33	4,23	39,50
240	6,71	21,61	3,30	8,62	8,83	0,99	42,69	4,27	45,15
270	6,80	21,32	3,72	8,83	10,22	0,98	42,84	4,28	50,79
300	6,90	21,54	4,13	8,90	11,36	0,99	42,93	4,29	56,43
330	6,93	21,57	4,54	8,86	12,28	0,99	43,05	4,30	62,08
360	6,90	21,61	4,95	8,85	13,04	0,99	43,18	4,32	67,72
390	7,00	21,70	5,37	8,90	13,69	1,00	43,27	4,33	73,36
420	7,05	21,75	5,78	8,91	14,26	1,00	43,33	4,33	79,01
450	6,95	21,28	6,19	8,94	14,75	0,98	43,37	4,34	84,65
480	6,90	21,64	6,61	8,97	15,19	0,99	43,39	4,34	90,29
510	6,93	21,27	7,02	8,88	15,56	0,98	43,48	4,35	95,93
540	6,90	21,62	7,43	8,86	15,89	0,99	43,60	4,36	101,58
570	6,90	21,78	7,84	8,86	16,18	1,00	43,73	4,37	107,22
600	6,90	21,93	8,26	8,85	16,44	1,01	43,85	4,39	112,86
630	6,97	21,88	8,67	8,96	16,69	1,01	43,88	4,39	118,51
660	6,94	21,90	9,08	9,02	16,93	1,01	43,84	4,38	124,15

Tabla C-15-20-2

Datos experimentales: Alúmina activa=15 g; Alimentación=20 mg/L; 2º activación.

h=	17 cm	0,17 m
Q=	0,0129 L/min	
Co=	21,98 ppm	
volumen de lecho=	0,0001 m ³	0,1131 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	4,60	0,86	0,77	-	0,00	0,04	17,01	1,13	6,85
90	4,54	0,49	1,16	0,26	0,22	0,02	25,26	1,68	10,27
120	4,40	0,39	1,55	0,17	0,28	0,02	33,60	2,24	13,70
150	4,37	0,42	1,94	0,16	0,30	0,02	41,95	2,80	17,12
180	4,34	0,51	2,32	0,18	0,33	0,02	50,28	3,35	20,54
210	5,60	14,36	2,71	2,88	1,34	0,65	55,91	3,73	23,97
240	5,60	19,57	3,10	6,57	3,30	0,89	57,85	3,86	27,39
270	5,99	20,34	3,48	7,72	5,15	0,93	58,63	3,91	30,82
300	6,12	21,00	3,87	8,00	6,70	0,96	59,14	3,94	34,24
330	6,13	21,16	4,26	8,16	8,01	0,96	59,48	3,97	37,66
360	6,13	21,19	4,65	8,20	9,10	0,96	59,80	3,99	41,09
390	6,19	21,07	5,03	8,18	10,03	0,96	60,12	4,01	44,51
420	6,19	20,41	5,42	8,03	10,79	0,93	60,60	4,04	47,94
450	6,18	21,00	5,81	8,01	11,45	0,96	61,09	4,07	51,36
480	6,18	21,40	6,19	8,21	12,06	0,97	61,39	4,09	54,79
510	6,10	21,24	6,58	8,25	12,61	0,97	61,65	4,11	58,21
540	6,14	21,48	6,97	8,27	13,09	0,98	61,89	4,13	61,63
570	6,56	21,41	7,36	8,30	13,53	0,97	62,09	4,14	65,06
600	6,64	21,41	7,74	8,29	13,93	0,97	62,31	4,15	68,48
630	6,64	21,46	8,13	8,30	14,28	0,98	62,52	4,17	71,91
660	6,67	21,46	8,52	8,31	14,61	0,98	62,72	4,18	75,33

Tabla C-5-20-3

Datos experimentales: Alúmina activa=5 g; Alimentación=20 mg/L; 3^º activación.

h=	5,5 cm	0,055 m
Q=	0,0155 L/min	
Co=	19,50 ppm	
volumen de lecho=	4E-05 m ³	0,037 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
30	5,58	2,70	0,47	-	0,00	0,14	9,07	1,81	12,71
60	6,36	18,65	0,93	4,96	5,34	0,96	13,17	2,63	25,42
90	6,50	19,10	1,40	8,78	9,85	0,98	13,46	2,69	38,14
120	6,60	19,38	1,86	8,95	12,20	0,99	13,58	2,72	50,85
150	6,43	18,37	2,33	8,78	13,53	0,94	13,86	2,77	63,56
180	6,53	19,29	2,79	8,76	14,42	0,99	14,17	2,83	76,27
210	6,54	19,41	3,26	9,00	15,12	1,00	14,24	2,85	88,98
240	6,50	19,49	3,72	9,04	15,66	1,00	14,26	2,85	101,70
270	6,55	19,33	4,19	9,02	16,08	0,99	14,30	2,86	114,41
300	6,54	19,49	4,65	9,02	16,41	1,00	14,34	2,87	127,12

Tabla C-10-20-3

Datos experimentales: Alúmina activa=10 g; Alimentación=20 mg/L; 3º activación.

h=	11 cm	0,11 m
Q=	0,015 L/min	
Co=	19,92 ppm	
volumen de lecho=	7E-05 m ³	0,0732 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
30	4,86	0,30	0,45	-	0,00	0,02	8,98	0,90	6,17
60	4,60	0,42	0,90	4,56	5,05	0,02	13,41	1,34	12,33
90	6,36	15,95	1,35	4,56	6,74	0,80	17,83	1,78	18,50
120	6,49	17,89	1,80	0,16	5,14	0,90	26,66	2,67	24,67
150	6,01	18,69	2,26	3,69	5,75	0,94	31,95	3,19	30,83
180	6,62	18,82	2,71	7,63	7,61	0,94	33,30	3,33	37,00
210	6,70	19,63	3,16	8,25	9,14	0,99	34,03	3,40	43,17
240	6,70	19,64	3,61	8,46	10,34	0,99	34,56	3,46	49,33
270	6,74	19,87	4,06	8,67	11,33	1,00	34,87	3,49	55,50

Tabla C-15-20-3

Datos experimentales: Alúmina activa=15 g; Alimentación=20 mg/L; 3º activación.

h=	17 cm	0,17 m
Q=	0,0145 L/min	
Co=	19,97 ppm	
volumen de lecho=	0,0001 m ³	0,1131 L

Tiempo (min)	pH	Conc. F ⁻ (ppm)	Vol. circulado (L)	F (mg)	Conc. Tanque (ppm)	C/Co	F retenido (mg)	q _t (mg F ⁻ /gAl ₂ O ₃)	Vol. de lecho
60	4,80	0,24	0,87	-	0,00	0,01	17,37	1,16	7,69
90	4,60	0,11	1,30	0,08	0,06	0,01	25,97	1,73	11,54
120	4,74	0,71	1,74	0,18	0,15	0,04	34,48	2,30	15,38
150	4,87	0,61	2,17	0,29	0,25	0,03	42,88	2,86	19,23
180	6,60	16,82	2,61	3,79	1,66	0,84	47,77	3,18	23,07
210	6,75	18,02	3,04	7,57	3,91	0,90	48,88	3,26	26,92
240	6,78	19,27	3,48	8,11	5,75	0,96	49,46	3,30	30,76
270	6,77	19,70	3,91	8,47	7,28	0,99	49,67	3,31	34,61
300	6,77	19,64	4,35	8,55	8,52	0,98	49,80	3,32	38,46
330	6,70	19,85	4,78	8,58	9,54	0,99	49,90	3,33	42,30
360	6,73	19,94	5,22	8,65	10,40	1,00	49,94	3,33	46,15
390	6,76	19,80	5,65	8,64	11,13	0,99	49,98	3,33	49,99
420	6,80	20,00	6,09	8,65	11,75	1,00	50,01	3,33	53,84
450	6,79	19,78	6,52	8,65	12,30	0,99	50,05	3,34	57,68
480	6,80	19,45	6,96	8,53	12,75	0,97	50,21	3,35	61,53