

Efectos de la fluoración de las láminas tipo brucita de hidróxidos dobles laminares MgFeAl sobre sus propiedades de adsorción

Correa Martinez Maria Del Rocio¹, Santana Cruz Alejandra^{1*}, Flores Moreno Jorge Luis¹, Soto Portas María Lídice¹, Aduna Espinosa Enrique¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México. C.P. 02200. México.

*Autor para correspondencia: sca@correo.azc.uam.mx

Recibido:

23/junio/2017

Aceptado:

3/septiembre/2017

Palabras clave

Fluoración, MgFeAl, adsorción

Keywords

Fluorination, MgFeAl, adsorption

RESUMEN

El presente trabajo presenta la síntesis de hidróxidos dobles laminares (HDL) a base de magnesio, aluminio y hierro, de manera general se sabe que los HDL tiene una estructura tipo brucita (ion de magnesio coordinado octaédricamente con grupos OH). Los materiales sintetizados de formulación MgAlFe-X (donde X= 5, 10 y 100 % flúor en el sólido) en el cual un porcentaje de aluminio coordinado octaédricamente con grupos OH fue sustituido por hierro coordinado octaédricamente con iones de flúor. Estos materiales fueron caracterizados por difracción de rayos-X, espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), microscopia electrónica de barrido, análisis termogravimétrico y adsorción de nitrógeno. Y se evaluaron como adsorbentes de colorante azul remazol brillante. Los sólidos sintetizados presentaron una capacidad de adsorción de hasta 80 ppm, dependiendo de la cantidad de flúor presente en el sólido.

ABSTRACT

This work is about the synthesis of layered double hydroxides (LDH) with magnesium, aluminum, and iron base. Generally, it is known that LDH structure is a brucite like (magnesium ion octahedrally coordinated with OH groups). MgAlFe-X are synthetic materials, where X= 5, 10 and 100% of fluorine present in it, and a coordinated aluminum fraction has been replaced by iron octahedrally coordinated with fluorine ions. These materials were characterized by X-ray diffraction, Fourier transformation infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscope, thermogravimetric analysis, and nitrogen adsorption; and evaluated as remazol brilliant blue dye adsorbents. Synthesized materials showed adsorption capacity up to 80 ppm, depending on the fluorine amount present in the material.



Introducción

Los HDL con fórmula química general $[M^{2+}_{1-x} M^{3+}_x (OH)_2] (An^-)_{x/n} \cdot mH_2O$, donde M^{2+} puede ser un catión metálico; por ejemplo, Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , etc. El catión trivalente pueden ser Fe^{3+} , Cr^{3+} , Al^{3+} , etc; An^- representa el anión de compensación de carga que puede ser NO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , aniones orgánicos, etc. (Hernández Torres L. M. 2014). La parte entre corchetes, $[M^{2+}_{1-x} M^{3+}_x (OH)_2]$, representa la composición de las láminas tipo brucita y, la notación $(An^-)_{x/n} \cdot mH_2O$ representa la composición el espacio interlaminar. De esta forma, variando el tipo y cantidad de cationes metálicos M^{2+} y M^{3+} , así como el anión de compensación de carga se puede acceder a una gran variedad de materiales tipo HDL; es decir, que se puede modificar tanto la composición de las láminas como del espacio interlaminar. La estructura laminar de los compuestos tipo HDL es estable cuando la relación molar $M^{3+}/(M^{2+} + M^{3+})$ oscila entre de 0.17 y 0.33 (Lima et al., 2014).

Hasta hace poco, la composición de las láminas, y por ende ciertas propiedades, sólo se podía modificar al variar el tipo de cationes M^{2+} y M^{3+} ; así como la relación molar M^{2+}/M^{3+} ; sin embargo, Lima y colaboradores (Gutierrez R. et al. 2012) propusieron modificar la composición de las láminas introduciendo grupos $[AlF_6]^{3-}$ en lugar de los grupos $[Al(OH)_6]^{3-}$ que componen originalmente a una hidrotalcita, esta estrategia puso de manifiesto cambios muy importantes en las propiedades de adsorción de los sólidos resultantes, se observa el comportamiento de la donación y aceptación de iones H^+ , lo que indica un aumento en los momentos dipolares y su distribución en la superficie. Los sólidos con contenidos de flúor mantuvieron pigmentos estables y resistencia a ser carbonatados debido a la interacción fuerte que tiene el agua con la superficie con contenido de flúor lo que provoca que los sitios sean ocupados por periodos más largos (Lima et al., 2014) por lo que predominan los sitios básicos.

Los HDL poseen la reputación de ser sólidos con propiedades básicas. Los sólidos recién sintetizados (frescos) presentan cierta basicidad, ya sea de Brønsted y/o de Lewis en cierta proporción.

La adsorción es un fenómeno de superficie, donde se retiran las impurezas (materia suspendida, coloides moléculas, átomos e iones) de la sustancia en la superficie (la cual incluye poros o superficie interna), del adsorbente. La adsorción se establece debido a las fuerzas del tipo Van der Waals que conlleva una

fisisorción con el adsorbente, la quimisorción está dada cuando se forman enlaces químicos con la molécula y la superficie, esta energía de adsorción es mayor a la energía de fisisorción. Una de las formas más utilizadas para representar el equilibrio de adsorción son graficas (llamadas isotermas) de cantidad adsorbida contra presión (en caso de gases o vapores), la concentración en fase líquida cuando se trate de adsorción de líquidos. En la actualidad la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) clasificó seis tipos de isotermas como más adelante se explicarán.

La isoterma de Brunauer, Emmett y Teller (BET), considera el llenado de los poros en multicapas de adsorbato donde se llevó la cinética de Lagnmuir a la formación de capas infinitas de adsorbato llegando como resultado a la isoterma II. Esta isoterma generalmente es utilizada para conocer el área superficial, y volumen de poro según la IUPAC los poros se clasifican en microporo (tamaño de poro menor a 2 nm), mesoporo (tamaño de poro de 2 a 50 nm) y macroporos (tamaño de poro mayor a 50 nm) de sólidos como lo HDL para esto se utiliza la adsorción de gases a su temperatura de ebullición a presión atmosférica (nitrógeno a 77 K, argón a 87 K o CO_2 a 273 K). De esta manera el grado de condensación del gas en la fase adsorbato hace que se refleje de una forma directa la estructura del sólido.

Los colorantes son sustancias orgánicas solubles en medio neutro, ácido o básico, que poseen una estructura molecular saturada, es decir electrónicamente inestables, las cuales dan color a una sustancia incolora o bien un sustrato por medio de una absorción selectiva de la luz. Sus moléculas están constituidas por tres grupos funcionales los cuales son cromóforo, auxocromos y solubilizador, los dos primeros grupos son aquellos que tienen hetero-átomos (átomos con electrones no enlazables "n") lo que permite las transiciones de menor energía y además pueden conjugarse lo cual aumenta el número de las posibles transiciones. El cromóforo que es el responsable de la absorción del color los cuales se definen como grupos químicos que introducidos en un grupo orgánico cromógeno (cíclico) produce la aparición del color al desplazar las bandas de absorción hacia la zona visible; los auxocromos son aquellos grupos que aumentan el valor tintóreo y la sustantividad de un colorante y por último el solubilizado que les da afinidad a solventes diversos.

Los HDL a base s $MgAlFe$ coordinados con OH^- y F^- , pueden ayudar a la adsorción de colorantes, por las propiedades ácidas y básicas que le genera el flúor.

Metodología

Síntesis de hidróxidos dobles laminares MgAlFe

El material MgAlFe, fue sintetizado por el método coprecipitación a baja sobresaturación de sales metálicas a pH constante de 9 reportado en la literatura, con ligeras modificaciones (Heredia A.C. et al. 2013). Para esto, se preparó dos soluciones; una metálica y otra básica. La solución metálica contuvo disueltas las sales precursoras de los iones metálicos, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ con una relación molar $Mg^{2+}/(Al^{3+} + Fe^{3+}) = 3$ y la relación molar Al^{3+}/Fe^{3+} de 0.33. Por otro lado, la solución básica que se utilizaron como precipitante, tenía una concentración 1 M de KOH y K_2CO_3 . Ambas soluciones se añadieron de manera simultánea a 30 mL de agua desionizada bajo agitación. El pH se mantuvo constante regulando las velocidades de adición de ambas soluciones. Al finalizar la adición, la suspensión obtenida se mantuvo a 60 °C por 12 horas, posteriormente el sólido obtenido se separó por centrifugación y se lavó con agua desionizada varias veces, finalmente fue secado a 80 °C por 24 horas.

Síntesis del complejo $K_3 [FeF_6]$

La síntesis se llevó a cabo a temperatura ambiente, disolviendo en agua desionizada la sal que contiene el ion de flúor, la cual fue KF (se llamó solución A) y por otro lado disolvió la sal que contenía el metal trivalente que se coordinó octaédricamente en este caso se utilizó $Fe(NO_3)_3$ (y se denominó solución B), la solución B se adiciono a la solución A muy lentamente posteriormente se dejó secar y se caracterizó.

Síntesis de $[NH_3] FeF_6$

La síntesis de este complejo se realizó según el método propuesto en la literatura (Remarks et al., 1986), se partió de una fuente ion Fe^{3+} , el cual se disolvió en agua desionizada, se adicionó hidróxido de amonio y se sometió a calentamiento en un vaso de precipitados de vidrio de boro-silicato fino, después este el producto se lavó y colocó en un vaso de precipitado de polipropileno, se le agregó muy lentamente peróxido de hidrógeno al 30% y se dejó en agitación, una vez terminada esta reacción se le adicionó ácido fluorhídrico hasta obtener un precipitado de color anaranjado en una solución incolora, posteriormente se lavó y secó, obteniendo un polvo de color beige muy fino.

Síntesis de hidróxidos dobles laminares MgAlFe- F X % (X= 5,10,100%)

En la notación empleada para estos materiales X indica el grado de reemplazo de unidades $[Fe(OH)_6]^{3-}$ por

unidades $[FeF_6]^{3-}$, en porcentaje. Se prepararon sólidos con porcentajes de 10, 20 y 30%.

Para la preparación de estos sólidos se empleó el método descrito arriba. En este caso, se utilizará la sal $[NH_4]_3 [FeF_6]$ como fuente de flúor para obtener los sólidos MgAlFe-5, MgAlFe-10 y MgAlFe-100.

Caracterización de materiales tipo hidrotalcita

La caracterización estructural se realizará por difracción de rayos-X (DRX), la cual se llevará a cabo en un difractómetro Philips X'PERT PRO; las muestras se analizarán en forma de polvo en un intervalo de 4 a 80 en 2 θ . Los espectros de infrarrojo (FTIR) se obtendrán en un espectrofotómetro NICOLET MAGNA IR 750. Las propiedades texturales serán caracterizadas por la técnica de fisorción de nitrógeno en un equipo BELSORP-MAX, (Bel-Japan). Las muestras también se analizarán por UV-vis para muestras sólidas.

Evaluación de las propiedades de adsorción

Las propiedades de adsorción fueron evaluadas, empleando el colorante azul brillante remazol astrazon. Los hidróxidos dobles laminares se pusieron en contacto con soluciones del colorante a concentraciones de 25, 50 y 100 ppm en agitación constante. Se tomaron muestras cada determinado tiempo para determinar la concentración del colorante por análisis UV-Vis en un espectrofotómetro PharmSpec UV-1700 (Shimadzu). Se eligió este colorante como molécula modelo ya que constituye un colorante de tipo aniónico (en solución la parte cromófora es un anión) susceptible de interactuar con las láminas positivamente cargadas de los HDL.

Resultados y discusión

Análisis del complejo y $K_3 [FeF_6]$ y $[NH_3] FeF_6$

En la figura 1 se muestra el difractograma del complejo hexafluoruroferrato III de amonio (a lo largo del escrito se llamada complejo A y hexafluoruroferrato III de potasio (a lo largo del escrito se llamada complejo B, estos difractogramas presentan los planos de difracción característicos en los planos (111), (200), (220) y (400) que corresponden con los patrones de difracción reportados en la literatura (Diffraction Standard X-ray 1971) por lo que se confirma que se tienen formados estos complejos.

Por otro lado, también se observa que el complejo A que contiene tiene una cristalinidad superior al complejo B.

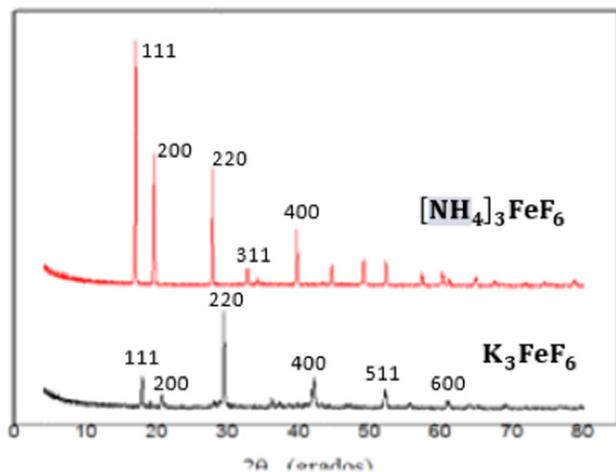


Figura 1. Diffractograma de los complejos que contienen la fuente Fe-F sintetizados.

En la figura 2 se observa que los picos característicos se encuentran que desplazados y los planos de difracción (511) y (600) se traslapan lo que indica que existe un elemento en ambos y que se encuentra en la misma posición dentro de la estructura esto puede deberse a la naturaleza de procedencia de la fuente de $[\text{FeF}_6]^{3-}$ al igual que la cristalinidad presente en el material.

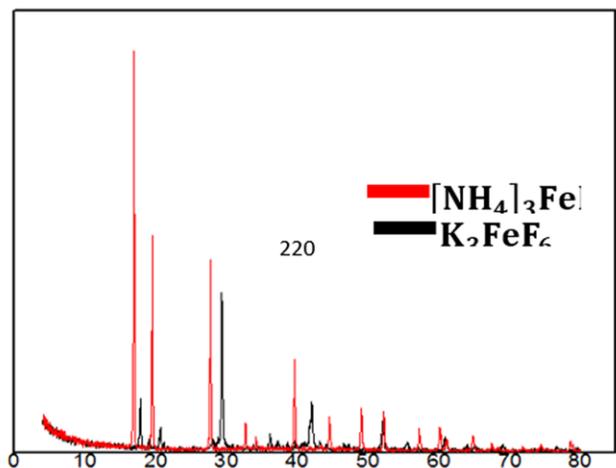


Figura 2. Desplazamiento de los difractogramas de los complejos A y B.

Análisis de los sólidos MgAlFe y MgAlFe-X%

En la figura 3 se muestra el diffractograma correspondiente a un HDL del tipo MgAlFe que presenta las señales de difracción característicos de un HDL en los planos (003), (006) y (009), los resultados que se obtienen de esta técnica es $c=3d_{003}$ y $a=2d_{110}$ están relacionados con la distancia interlamilar y la distancia promedio entre catión y catión respectivamente y los resultados

obtenidos se muestran en la tabla 1 donde no se observa algún cambio significativo.

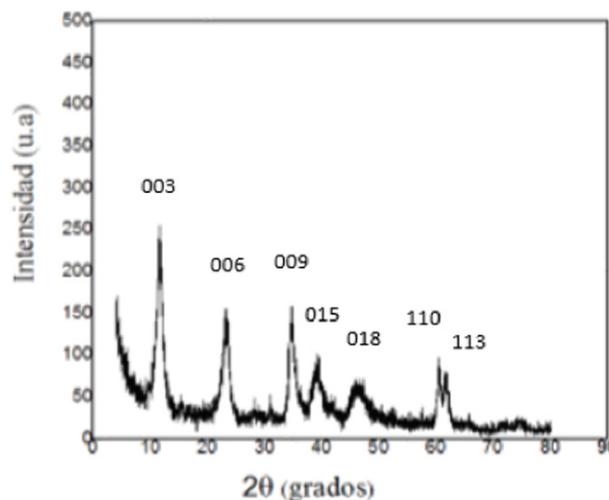


Figura 3. Diffractograma del sólido MgAlFe.

Tabla 1. Parámetros de red de los sólidos sintetizados.

Tipo de sólido	Parámetros de red	
	$c=3d_{003}$	$a=2d_{110}$
S-OH 100%	23.06662	3.0698
S-F 5%	22.956	3.06282
S-F 10%	23.21652	3.06622
S-F 100%	22.93575	3.04894

En la figura 4 se muestran los sólidos con un cierto porcentaje de flúor en su estructura, las señales de difracción corresponden a HDL los cuales se presentan en los planos de difracción (003), (006) y (009) además las señales correspondientes a los planos (110) y (018) tienden a hacer más definidos y aumentan su intensidad conforme se aumenta la cantidad de flúor en el sólido. También se puede observar que las señales de difracción en los planos (015) y (018) son más definidas, en cuanto a los planos (003), (006) y (009) decrece su intensidad, pero se vuelven más definidos.

Es notorio que comienza a aparecer una señal adicional entre los planos (110) y (113) conforme se aumenta la cantidad de flúor en el sólido y esto es porque al aumentar la cantidad de flúor en el sólido este va formado otro tipo de compuestos y en este caso se tiene la formación de MgF_2 (Wu et al., 2010), esto podría ser a que el flúor contiene una alta electronegatividad puede desplazar al ion OH^- provocando que los iones metálicos se coordine con iones de F. También la presencia de éste provoca un desplazamiento en los picos de los sólidos conforme se aumenta la cantidad del mismo.

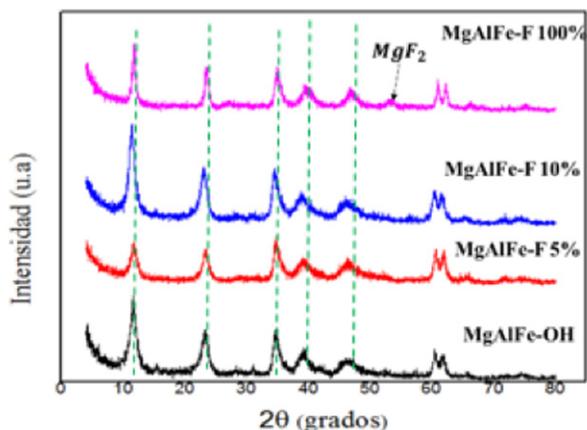


Figura 4. Difractograma de sólidos con y sin flúor.

En la tabla 2 se muestran el tamaño promedio de cristal obtenido utilizando la ecuación de Scherrer. Se observa que a medida que va aumentando la cantidad de flúor en la estructura, la distancia entre cationes aumenta al igual que la región interlamina ya que también se tienen los iones de F⁻ coordinados octaédricamente con hierro.

Tabla 2. El tamaño promedio de cristal.

Tipo de sólido	Tamaño promedio de partícula	
	L ₀₀₃ (nm)	L ₁₁₀ (nm)
MgAlFe-OH 100%	12.4183975	17.54039413
MgAlFe-F 5%	7.98495534	17.05105481
MgAlFe-F 10%	13.7096866	16.97942869
MgAlFe-F 100%	14.95114	24.89355791

En la figura 5 se observan las bandas de vibración de los enlaces Fe-F entre 470 y 497 cm⁻¹, las bandas en 766 y 664 cm⁻¹ pertenecen a la presencia de flúor en el sólido estas cuatro bandas se hacen más notoria conforme se aumenta la cantidad de hierro coordinado octaédricamente con flúor, en las bandas 3400 y 3450 cm⁻¹ las bandas correspondientes a los grupos OH⁻ van disminuyendo debido a que el sólido MgAlFe no contiene hierro coordinado con flúor todos los cationes metálicos están coordinados con grupos OH⁻ y cuando se comienzan a sustituir un porcentaje de este hierro coordinado con OH⁻ por hierro coordinado con flúor, comienza a disminuir la presencia de grupos OH⁻ por lo tanto las bandas comienzan a decrecer conforme se aumenta la cantidad de flúor en el sólido.

Entre las bandas 1358 -1361 cm⁻¹ tenemos a los grupos carbonatos los cuales conforme aumenta la cantidad de flúor estas bandas se van disminuyendo y esto podría

ser debido a que conforme se agrega flúor al sólido el cual es más electronegativo por lo las láminas formadas necesitan menor grupos carbonatos para la estabilidad de cargas.

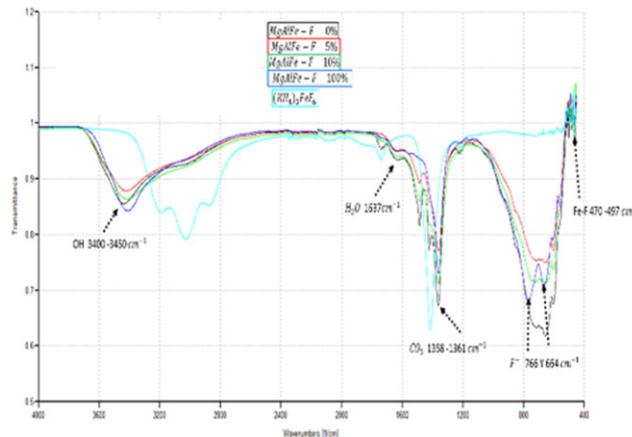


Figura 5. Espectros de los sólidos con y sin flúor y el complejo.

En la figura 6 muestra el termograma de los sólidos donde se observa que de 25 a 200 °C se observa la primera pérdida de peso y es porque el agua fisisorbida entre las láminas se elimina posteriormente se tiene una segunda pérdida de peso entre 200 y 400 °C esta es atribuida a la descomposición de los aniones CO₃²⁻ en CO₂, se puede observar que al sólido con mayor porcentaje de flúor en la estructura tiene una pérdida de peso menor esto se debe a que el sólido que no contiene flúor de los tres aniones utilizados están coordinados octaédricamente con grupos OH⁻ mientras que en sólido que contiene el mayor porcentaje de flúor existen menos grupos OH⁻ por lo tanto el flúor es más difícil removerlo del sólido provocando una estabilidad termina del material, después de los 400°C se forman los óxidos mixtos correspondientes a cada sólido.

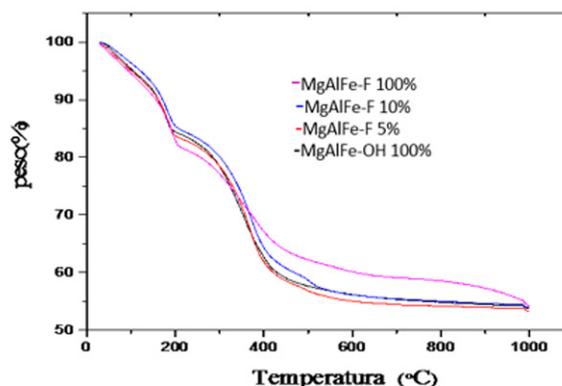


Figura 6. Termograma de sólidos con y sin flúor.

En la figura 7 se puede observar claramente que la morfología de los sólidos es afectada cuando se incorpora el flúor a la estructura, cuando aumenta la cantidad de este en el sólido se van formando aglomerados esto podría de estar pasando por la electronegatividad elevada que contiene el flúor. La topografía del material no es uniforme y se pueden apreciar huecos en la estructura por lo que se puede decir que es un sólido poroso, pero con este tipo de técnica no es posible determinar el tamaño de poro.

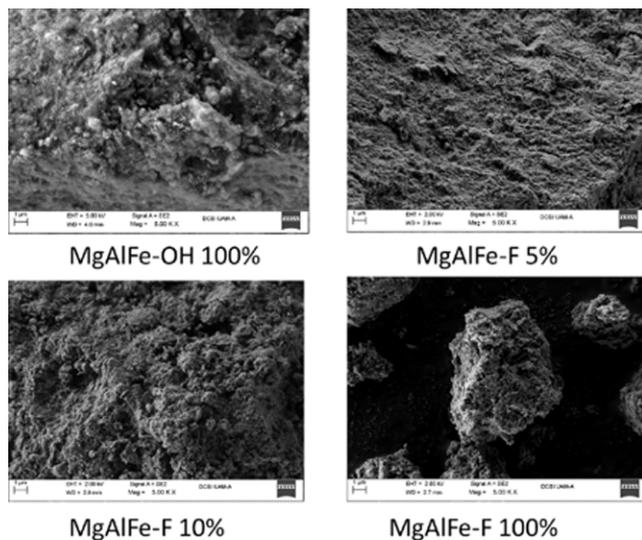


Figura 7. Micrografías de los sólidos con y sin flúor.

En la figura 8 se muestra que el sólido que contiene hierro coordinado octaédricamente con grupos OH presenta una isoterma tipo II con un lazo de histéresis tipo III según la IUPAC (Donohue and Aranovich 1998), las cuales son características de sólidos mesoporosos y partículas con morfología laminar o en forma de rendija, en este caso el llenado de la multicapa se realiza previo a la condensación capilar, además de que el radio interno del poro es menor por lo tanto el ciclo de histéresis es menor. Este sólido alcanzó una área superficial de 103.99m²/g, volumen de poro 0.0.6753m³/g y un diámetro de poro de 25.976 nm.

En la tabla 3 se observa que a medida que aumenta la cantidad de flúor en el sólido el diámetro del poro disminuye, así como el área superficial y el volumen del poro se pensaría que a menor diámetro de poro mayor área superficial pero también está disminuyendo el volumen del poro, por lo cual es muy notorio el decremento en el área superficial.

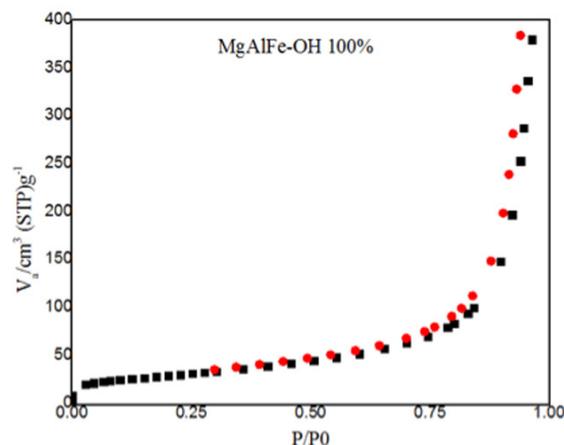


Figura 8. Isotherma Adsorción-Desorción de N₂ para el sólido MgAlFe-OH 100%.

Tabla 3. Comparación de datos superficiales.

Tipo de sólido	Volumen de poro [m ³ /g]	Diámetro de poro [nm]	Área superficial [m ² /g]
MgAlFe-OH	0.6753	25.976	103.99
MgAlFe-F 5%	0.5763	20.589	111.96
MgAlFe-F 10%	0.3054	14.875	82.13
MgAlFe-F 100%	0.4098	23.326	70.282

Evaluación de adsorción

Para determina la cantidad decolorante en solución se realizó previamente una curva de calibración para el colorante azul remol brillante mediante un método colorimétrico utilizando un espectrofotómetro Uv-visible PharmSpec UV-1700 (Shimadzu), utilizando agua desionizada como blanco y un rango de concentraciones de 25 mg/L a 250 mg/L, la longitud de onda utilizada fue 591 nm la cual es la máxima para el colorante azul rémol Brillante, concentración Vs absorbancia se correlacionaron por medio de la ecuación(Alicia et al. 2015).

$$A = mc + b$$

Donde:

c = concentración de azul remozol brillante en mg/L.

A = es la absorbancia.

m = pendiente de la curva de calibración (también denominada factor de calibración).

b = intersección del valor de absorbancia

Despejando la ecuación anterior tenemos que la concentración en cualquier tiempo es: $c = A \cdot b / m$; los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4, de acuerdo a la figura 9.

Tabla 4. Resultados del ajuste lineal para la curva de calibración.

Constantes del Ajuste	
m	838.95
b	-0.0219
R ²	0.9742

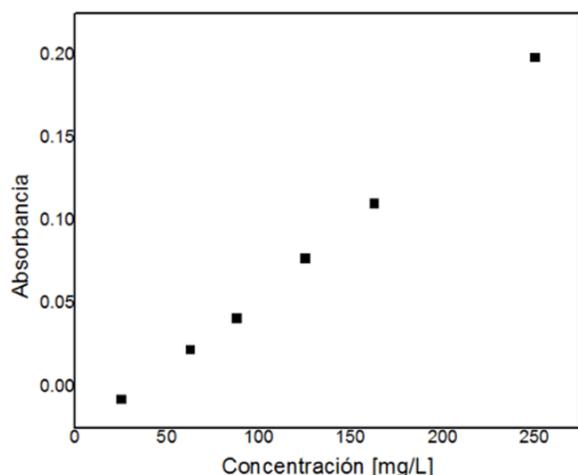


Figura 9. Curva de calibración y datos de las constantes de ajuste.

En las figuras 10, 11 y 12 se observan los espectros de la absorbancia de los sólidos sin flúor y con el mayor porcentaje de este, se observa un efecto o desplazamiento hipocrómico el cual es una disminución en la intensidad de la banda espectral de los sustituyentes o interacciones en el entorno molecular (Litter and Mori 2008.), este es ocasionado por la disminución del colorante en solución con el paso del tiempo, también se observa que al aumentar la concentración y en una longitud de onda de 442 nm se presenta un punto isobéptico el cual es referido cuando al trazar los espectros a diferentes tiempos estos se cruzan en un punto determinado y se caracteriza porque la absorbancia molar de la forma ácida y básica es la misma en este punto.

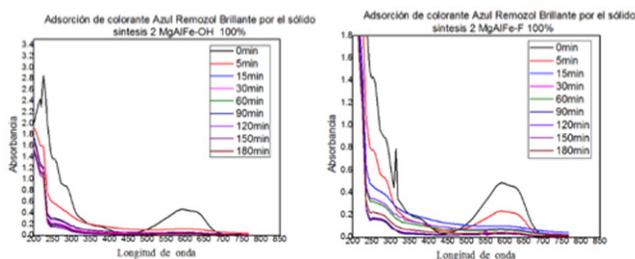


Figura 10. Espectros de absorbancia a una concentración de 25 ml/L.

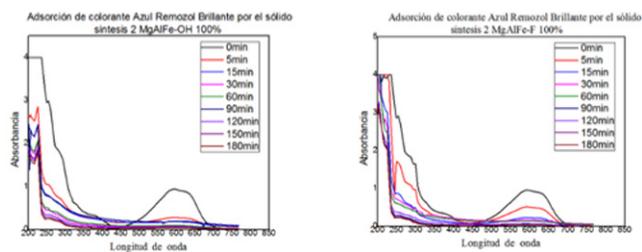


Figura 11. Espectros de absorbancia a una concentración de 50 ppm.

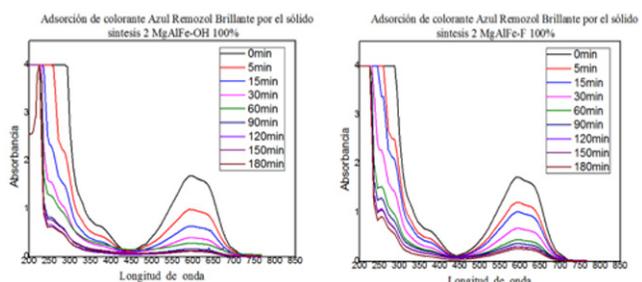


Figura 12. Espectros de absorbancia a una concentración de 100 mg/L.

En la figura 13 se muestran la adsorción de colorante azul remozo brillante para los diferentes sólidos y concentraciones, se puede observar que al aumentar el porcentaje de flúor en el sólido existe una inhibición de la adsorción, y el sólido que contiene un porcentaje de 5% de flúor en la estructura es el que mejor resultados presenta.

Cinéticas de Adsorción

Con la absorbancia obtenida por UV-vis se determinó el porcentaje de colorante adsorbido en el sólido en la figura 13 se muestran las curvas de adsorción con respecto al tiempo.

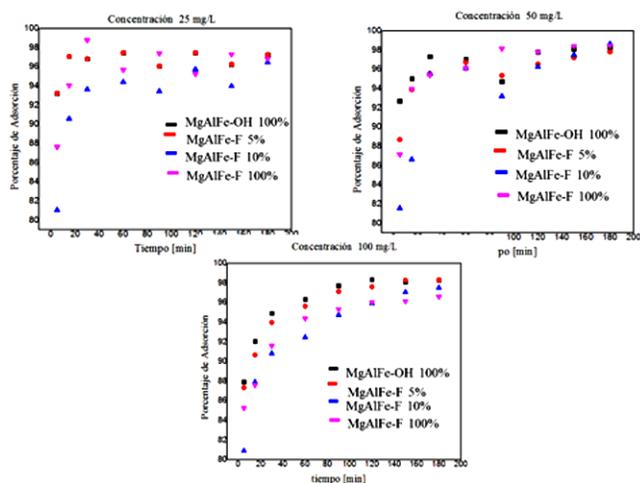


Figura 13. Gráficas de adsorción con respecto al tiempo para los diferentes sólidos y concentraciones.

En la tabla 5 se exponen los resultados de la constante de velocidad de adsorción, en esta se muestra que la reacción es de segundo ya que coeficiente de correlación es cercano a 1 y la concentración de adsorbato en el equilibrio es muy parecida tanto la teórica como la

calculada, con las isothermas además se observa que al aumentar la cantina de flúor en el sólido la velocidad de adsorción disminuye y esto es porque se están generando otro tipo de compuestos en el material lo que inhibe la adsorción.

Tabla 5. Resultados de los Pseudo-órdenes para la cinética de adsorción.

Tipo de Sólido	Concentración de colorante [ppm]	cinética Pseudo-primero orden			cinética de Pseudo-segundo orden			qe (experimental)	velocidad de adsorción inicial $mg\ g^{-1}\ min^{-1}$
		k_1 min^{-1}	qe $mg\ g^{-1}$	R ²	k_2 $g\ mg^{-1}\ min^{-1}$	qe $mg\ g^{-1}$	R ²		
MgAl Fe-OH	25	-0.011515	24.321771	0.7078	0.547561	24.2718	0.999	24.321771	322.58064
	50	0.02003	49.15489	0.96888	0.025127	49.26108	0.9997	49.15489	60.97561
	100	0.02556	98.33363	0.9872	0.0094453	99.00099	1	98.33363	92.59259
MgAl Fe-F 5%	25	-0.007599	24.4052	0.6239	0.206019	24.03846	0.9992	24.4052	119.04761
	50	0.01151	48.9284	0.9173	0.081261	48.78048	0.99999	48.92842	76.62686
	100	0.02349	98.31932	0.9867	0.00971523	99.0099	0.9999	98.31932	95.238095
MgAl Fe-F 10%	25	0.0048363	24.11913	0.9409	0.0494	23.98081	0.9997	24.11913	28.40909
	50	0.017272	49.3313	0.9649	0.0101002	49.26108	0.9994	49.33131	24.509803
	100	0.020496	97.5219	0.9887	0.0044272	98.039215	0.9998	97.5219	42.55319
MgAl Fe-F 100%	25	0.03224	21.214994	0.8182	0.175844	24.21307	0.9996	24.214994	103.09278
	50	0.03638	49.23833	0.9644	0.027472	49.26108	1	49.238333	66.6666
	100	0.02326	96.60886	0.9818	0.009388	97.08737	0.9999	96.60885	88.49557

Conclusiones

Se sintetizaron los sólidos MgAlFe-X (donde X son los porcentajes de flúor en el sólido 5, 10, y 100 %): se lograron caracterizar por distintas técnicas.

La cinética de adsorción para todos los sólidos fue de pseudo-segundo orden, además de que se observa que a la concentración de 25 ppm, la velocidad inicial de adsorción aumento porque existe menor cantidad de adsorbato y mayor área superficial expuesta, cuando se aumenta a 50 ppm la velocidad inicial de adsorción disminuye porque se está llenado la mono-capa sin dejar ningún sitio disponible y por ultimo al llegar a la concertación de 100 ppm la velocidad de adsorción aumenta porque comienza el fenómeno de interacción adsorbato-adsorbato lo que provoca un aumento en la velocidad inicial de adsorción.

El HDL a base de MgAlFe con flúor en menor cantidad, mejora las propiedades de adsorción, por lo que podría aprovecharse en la industria textil para los residuos de colorante. También es posible seguir con el estudio de estos sólidos para la adsorción de otros colorantes con diferentes propiedades.

Agradecimientos

Al equipo de trabajo del laboratorio del área de química de materiales (edificio W).

Referencias

- Alicia Laura Ramírez Llamas, Araceli Jacobo Azuara, and J Merced Martínez Rosales. 2015. "Adsorción Del Naranja de Metilo En Solución Acuosa Sobre Hidróxidos Dobles Laminares." 25(3): 25-34.
- Diffraction Standard X-ray. 1971. "National Bureau of Standards Monograph 25-section 9." In Standard X-Ray Diffraction Powder Patterns, Washington D. C., 128.
- Gutierrez R., Lima E., Martínez M., and Vera M. 2012. "Fluorinated Hydrotalcites: The Addition of Highly Electronegative Species in Layered Double Hydroxides to Tune Basicity." *Inorganic Chemistry* 51: 7774-81.
- Heredia A.C. et al. 2013. "Synthesis, Characterization and Magnetic Behavior of Mg-Fe-Al Mixed Oxides Based on Layered Double Hydroxide." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 342: 38-46.

Hernández Torres L. M. 2014. "Funcionalización de Hidróxidos Dobles Laminares y sus Consecuencias en las Propiedades de Intercambio Iónico y Adsorción." Proyecto Terminal en Ingeniería Química, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

Lima E., Pfeiffer H., and Flores J. 2014. "Some Consequences of the Fluorination of Brucite-like Layers in Layered Double Hydroxides: Adsorption." *Applied Clay Science* 88–89: 26–32.

Litter, Esparza, and Wong Mori. 2008. "Metodos Espectrofotométricos UV-Vis." In , 43–63.

Remarks, Concluding, General Education, and K Sawada. 1986. "Direct Syntesis of Fluoro(sulfato)ferrates(III) and Reaction of Thiocynate and Fluoride with Iron and Hydrogen Peroxide as an Access to Fluoro(sulfato) ferretes(III)." *Inorganic Chemistry* 25(9): 3749–51.

Wu, Gongde, Xiaoli Wang, Wei Wei, and Yuhan Sun. 2010. Fluorine-Modified Mg – Al Mixed Oxides: A Solid Base with Variable Basic Sites and Tunable Basicity. *Applied Catalysis A, General* 377(1–2): 107–13.