



**PREPARACION DE COMPUESTOS TIPO HIDROTALCITA UTILIZANDO
IRRADIACION DE ULTRASONIDO PARA LA CAPTURA DE CO₂**

J.A.J. Martínez¹, S. P. Paredes¹, M. A. Valenzuela¹, M. L. Hernández¹

¹Lab.Catálisis y Materiales. ESIQIE-Instituto Politécnico Nacional. Zacatenco, 07738, México, D.F.
Tel : (55)5729-6000, ext. 55293, correo electrónico: sparedesc@ipn.com.mx

RESUMEN

Se prepararon Compuestos Tipo Hidrotalcita (CTH) Al-Mg por los métodos de: coprecipitación, sol gel y reconstrucción de la estructura asistidos por irradiación de ultrasonido. Los componentes interlaminares para cada método fueron respectivamente: nitrato, etóxido-acetilacetato y metavanadato. La optimización de la síntesis, se efectuó mediante difracción de rayos-X. Se estudió el efecto de diversos parámetros en la síntesis: pH, tiempo y potencia de irradiación de ultrasonido, además, para el método de reconstrucción se evaluaron la temperatura y el tiempo de calcinación. En todos los casos se encontró que el empleo de métodos asistidos por ultrasonido resultan ser más eficientes y económicos que los métodos convencionales reportados (autoclave), además tienen la ventaja, de poder controlar propiedades tales como: la cristalinidad, la porosidad y la superficie específica que dependen significativamente del método de preparación, del tiempo de irradiación y del tipo de componente interlaminar. Con lo anterior se busca sintetizar materiales interlaminares aniónicos, muy escasos en la naturaleza, con mejores propiedades que los adsorbentes tradicionales utilizados para la captura de CO₂.

Palabras clave: Compuestos Tipo Hidrotalcita, irradiación de ultrasonido, captura de CO₂.

1.- Introducción

En años recientes los CTH de la familia de las arcillas aniónicas, han tenido gran aplicación en las áreas catalíticas, médicas, industriales y como sorbentes. Estos compuestos como tales son muy poco frecuentes en la naturaleza, de ahí la necesidad de emplear nuevas tecnologías de síntesis, como son los métodos de irradiación con ultrasonido o microondas. La estructura de un CTH se puede representar por la formula general¹.

$$\left[\left(M^{II} \right)_{1-x} \left(M^{III} \right)_x (OH)_2 \right]^{x+} \left(A_{x/n}^{n-} \right) mH_2O$$

Donde:

M^{II} y M^{III} representan metales mono, di y trivalentes respectivamente

A^{n-} representa a un anión interlaminar de carga n

x representa la relación metálica molar $x = \left[\frac{M^{3+}}{M^{2+} + M^{3+}} \right]$ en el intervalo de 0.20 a 0.33

m número de moléculas de agua

Para entender la estructura de los CTH es conveniente partir de la estructura de la brucita $Mg(OH)_2$, el cual es un mineral compuesto por unidades octaédricas con átomos centrales de Mg^{2+} coordinados hexaédricamente con grupos OH situados en los vértices del octaedro, de forma tal que cada grupo OH comparte su vértice con tres unidades octaédricas formando así una capa infinita (Figura 1a). Estas capas están dispuestas unas sobre otras unidas mediante enlaces de hidrógeno formando así una red cristalina compacta². Cuando un ión M^{II} es sustituido isomórficamente por un ión trivalente con un radio iónico similar M^{III} , una carga positiva es generada en la capa octaédrica, misma que se compensa con aniones en teoría de cualquier tipo, generando así un espaciado interlaminar que también es ocupado por moléculas de agua (Figura 1b). Se ha reportado que el anión más afín a esta estructura es el CO_3^{2-} en el caso de la hidrotalcita³.

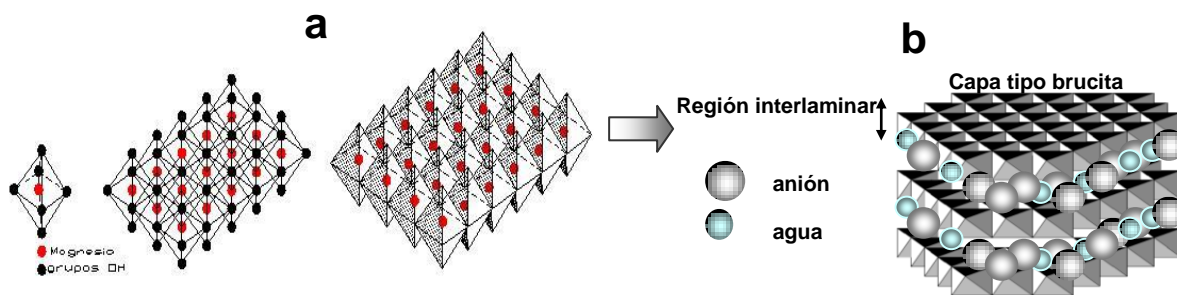
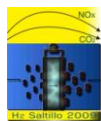


Figura 1. a) Representación de una capa de brucita y b) Representación de un compuesto tipo hidrotalcita.



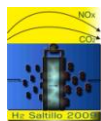
En cuanto a los aniones interlaminares que compensan la capa tipo brucita, se han estudiado las propiedades de retención aniónica de los compuestos tipo hidrotalcita y se ha comprobado que existe una fuerte dependencia entre la distancia interlaminar, el tamaño y la carga de los aniones intercalados. Estudios realizados predicen que los compuestos tipo hidrotalcita intercambian aniones selectivamente en el siguiente orden⁴: $CO_3^{2-} > SO_4^{2-} > Cl^- > ClO_4^- > NO_3^- > CH_3COO^-$.

Estas propiedades apuntan al importante papel que pueden desarrollar los compuestos tipo hidrotalcita, en la sorción de aniones indeseables en efluentes acuosos o gaseosos (CO_2)⁵. Con esta finalidad surgió la propuesta de utilizar este tipo de materiales para la captura de CO_2 , mejorados texturalmente por las técnicas de obtención propuestas (irradiación de ultrasonido) y por el tipo de anión interlaminar propuesto (nitrato, etóxido-acetilacetato y metavanadato) de fácil intercambio, los cuales se evaluarán entre sí en la sorción de CO_2 reconocido como producto indeseable de la síntesis de H_2 ⁶. Se aclara que en este trabajo solo se abordará la síntesis de estos materiales, y en trabajos futuros se tratará la parte de la captura cuyas evaluaciones se están realizando actualmente, tomado como referencia materiales adsorbentes utilizados comúnmente en la captura de CO_2 como es el caso de las arcillas aniónicas (zeolitas) y del carbón activado⁷.

Retomando la parte de la síntesis, el uso de irradiación de ultrasonido en la etapa de cristalización en los métodos de coprecipitación y sol gel tradicionales, permite llevar a cabo la obtención de CTH en condiciones de operación mucho menos agresivas (baja presión y temperatura), los cuales requieren del uso de un autoclave para lograr las condiciones necesarias para el proceso de cristalización durante la síntesis, así como también la reducción de los tiempos necesarios para llevar a cabo la síntesis. Por otro lado estos métodos permiten además controlar el tamaño del cristal sintetizado teniendo como consecuencia, un valor controlado en cuanto al área específica y de la porosidad del material sintetizado; siendo estos parámetros importantes para las aplicaciones en lo que a sorción se refiere^{8,9 y 10}.

La optimización del proceso de síntesis se efectuó mediante el análisis de difractogramas de rayos-X de las muestras sintetizadas, ensayando diversos factores como: el pH, el tiempo y la potencia de irradiación.

Las muestras sintetizadas por esta técnica fueron llamadas: CTHN, UEA y HTMVA y HTMVB, con componentes interlaminares nitrato, etóxido-acetilacetato, metavanadato en medio ácido y metavanadato en medio básico respectivamente.



2. - Condiciones experimentales

2.1 *Compuesto tipo hidrotalcita Mg/Al con componente interlaminar nitrato sintetizado por el método de coprecipitación mediante irradiación de ultrasonido (CTHN)*

Se preparó una solución con 0.5 L de agua y 28.087 g de nitrato de aluminio nonahidratado y 57.59 g de nitrato de magnesio hexahidratado, a esta solución se le llamó A. Además se preparó una solución con 1L de agua y 23.95 g de hidróxido de sodio, a esta solución se le nombró como B. Se adicionaron de manera simultánea gota a gota las soluciones A y B, a manera de mantener el pH en aproximadamente en 12, el gel obtenido se irradió en un baño de ultrasonido (Elma D-78224 con una potencia máxima de trabajo de 4.8 kW) utilizando el 50 % de la potencia del baño (2.4 kW), durante 10 min (20 ó 30 min según tiempo de síntesis) a una frecuencia de 25 KHz (en modo de pulsos) y una temperatura de 80 °C. Después del tratamiento con ultrasonido, el material se lavó con agua desionizada hasta no observar la separación de las fases, secando el material a 70 °C. Las muestras obtenidas irradiadas a 10, 20 y 30 min fueron llamadas CTHN10, CTHN20 y CTHN30 respectivamente.

2.2 *Compuesto tipo hidrotalcita Mg/Al con componentes interlaminares etóxido-acetilacetinado sintetizado por el método sol gel mediante irradiación de ultrasonido (UEA)*

Se preparó una solución con etanol en agua acidificada con ácido clorhídrico (al 33% en agua), se adicionó 4.52 g de etóxido de magnesio y 4.32 g de acetilacetionato de aluminio. A continuación se irradió en un baño de ultrasonido (Elma D-78224 a las mismas condiciones que la nitrada por 30 min. Transcurrido este tiempo, se adicionó 4 mL de agua desionizada, se ajustó el pH con hidróxido de amonio a un valor de 11.5. El gel resultante, se sometió nuevamente a irradiación de ultrasonido para formar el sólido cristalino-CTH, durante 10, 20 y 30 min según la muestra a preparar, controlando la temperatura a 80 °C. El material resultante fue lavado con etanol, hasta no observar la separación de las fases y secado a 60 °C. Las muestras obtenidas irradiadas a 10, 20 y 30 min fueron designadas como UEA10, UEA20 y UEA30 respectivamente.

2.3 *Compuesto tipo hidrotalcita Mg/Al reconstruido con metavanadato de sodio por irradiación de ultrasonido en medio básico (HTMVB)*

Se tomaron 25 g de CTHN10 calcinado a 600 °C por 18 horas en atmósfera inerte, el sólido se mezcló con 300 mL de agua desionizada a continuación se le adicionó 8.52 g de metavanadato de sodio; la mezcla obtenida se coprecipitó con una solución de hidróxido de sodio al 3 % en un reactor, mediante la cual se mantuvo el pH en 10. La mezcla obtenida se irradió en un baño de ultrasonido utilizando (mismas condiciones que 2.1 y 2.2) por 3, 5, 8, 10, 20 y 40 min según la muestra a preparar a continuación se lavó en

repetidas ocasiones con agua destilada, hasta un pH de 8; el sólido cristalino fue secado a 70 °C. Las muestras preparadas fueron nombradas como: HTMV-3B, HTMV-5B, HTMV-5B, HTMV-10B, HTMV-20B y HTMV-40B dependiendo de los minutos de irradiación de ultrasonido durante la síntesis.

2.4 Compuesto tipo hidrotalcita Mg/Al reconstruido con metavanadato de sodio por irradiación de ultrasonido en medio ácido (HTMVA)

Se efectuó el mismo procedimiento con la variante que en punto 2, el pH fue controlado en un valor de 4 con HCl. Las muestras sintetizadas fueron designadas como: HTMV-10A, HTMV-20A y HTMV-40^a con base en el tiempo de irradiación con ultrasonido.

Para dar seguimiento al proceso de síntesis, se empleó un difractómetro Siemens D-500, con ánodo de cobre y monocromador de haz difractado. Los CTH obtenidos se compararon con la tarjeta JCPDS-220700.

3.- Resultados y discusión

Se pone como ejemplo a los sistemas HTMVA y CTHMVB, para explicar detalladamente el proceso de optimización de la síntesis, los sistemas CTHN y UEA se optimizaron de igual manera y solo se presentan los resultados de los materiales óptimos que se utilizarán en el proceso de sorción de CO₂.

Para la optimización del proceso de síntesis por reconstrucción de la estructura con irradiación de ultrasonido se estudiaron los efectos: del pH, del tiempo y de la potencia de irradiación, mediante difracción de rayos X. En la Figura 2 se muestran los difractogramas de rayos X de las muestras HTMV-10A, HTMV-20A y HTMV-40A, sintetizadas por la técnica descrita en medio ácido a: 10, 20 y 40 minutos de irradiación de ultrasonido respectivamente.

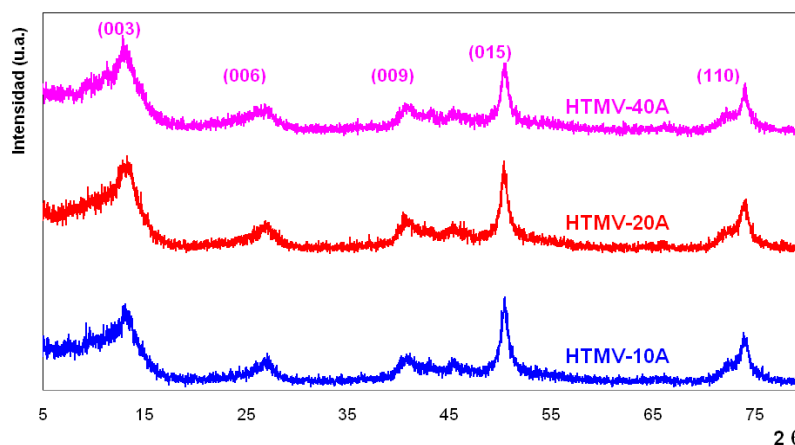


Figura 2. Difractogramas de rayos X para las muestras HTMV-10A, HTMV-20A y HTMV-40QA en medio ácido.

Se observa en todos los casos que los picos de difracción corresponden a CTH libres de impurezas. En cuanto al tiempo de irradiación, a medida que este se incrementa las muestras sintetizadas pierden cristalinidad aunque no de manera significativa, lo que indica que mayores tiempos de irradiación se obtienen estructuras menos ordenadas con menores tamaños de partícula. Sí se compara con la tarjeta JCPDS-220700 para con componente interlamilar carbonato, se observa que el pico de difracción 003 presenta un corrimiento a la derecha en promedio de 1.88° en 2θ , tomando como base el pico 003, lo que indica una contracción del espaciamiento interlamilar fue de 1.1 \AA . Se observa además que estos picos son muy anchos en comparación con el CTH de la tarjeta, lo que indica que el tamaño promedio de los cristales obtenidos es más pequeño, otra diferencia que se aprecia con base a la muestra carbonatada, es la mayor intensidad del pico 015, lo que indica que existe un mayor crecimiento de los cristales en esa dirección.

La Figura 3 representa los difractogramas de rayos X de las muestras HTMV-10B, HTMV-20B y HTMV-40B, sintetizadas en medio básico irradiadas con ultrasonido a 10, 20 y 40 minutos.

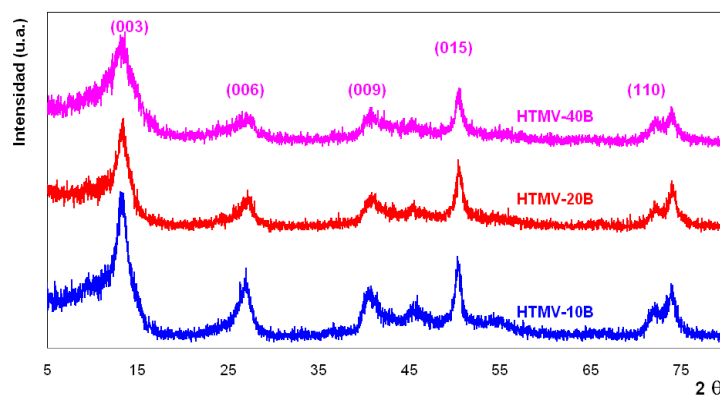


Figura 3. Difractogramas de rayos X para las muestras HTMV-10B, HTMV-20B y HTMV-40B en medio básico.

Se puede comentar que básicamente sigue el mismo patrón de comportamiento que las muestras sintetizadas en medio ácido, es decir mayores tiempos de irradiación producen muestras menos cristalinas.

Si se comparan las muestras sintetizadas en medio ácido y básico (Figura 4) a un mismo tiempo de irradiación, se observa que en todos los casos las muestras sintetizadas en medio básico son más cristalinas tomando como base el pico de difracción 003, se observa además para las muestras sintetizadas a 10 minutos de irradiación (HTMV-10A y HTMV-10B) que los picos de difracción están mejor definidos y el cambio de cristalinidad de un medio a otro es más evidente.

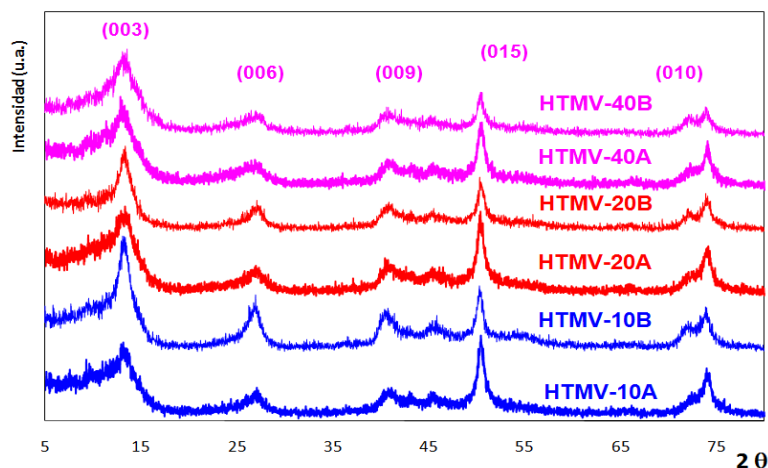


Figura 4. Comparativo de las series HTMVA y HTMB sintetizadas en medio ácido y básico respectivamente.

Con base a los resultados obtenidos se recomienda realizar el proceso de síntesis a pH básico, ya que se obtienen muestras más ordenadas de tamaño de cristal mayor. Con el fin de optimizar el proceso de síntesis y con base a la sensibilidad observada a 10 minutos se sintetizaron muestras a 3, 5, 8 y 10 minutos de irradiación en medio básico las cuales se compararan con una muestra sin irradiar denominada HTMV-0B.

La figura 5 contiene los difractogramas de las muestras sintetizadas: a) muestra HTMV-0B sin irradiación con ultrasonido y b) muestras a 3,5, 8 y 10 minutos de irradiación de ultrasonido en medio básico.

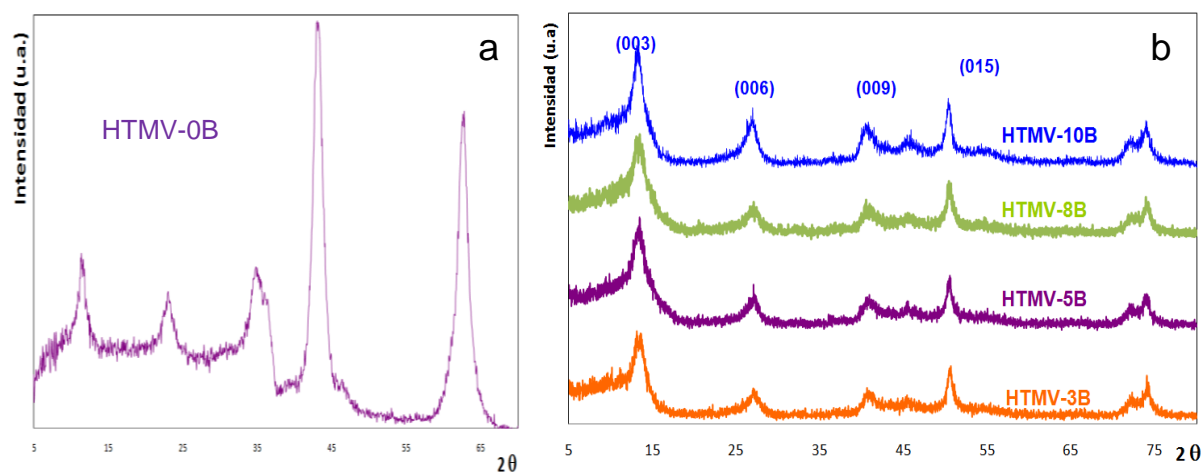
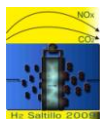


Figura 5. Difractogramas de rayos X para las muestras sintetizadas en medio básico: a) HTMV-0B sin irradiación de ultrasonido y b) HTMV-3B, HTMV-5B, HTMV-8B y HTMV-10B.



Contrario a lo observado para tiempos de irradiación de ultrasonido mayores de 10 minutos, se tiene que a medida que aumenta el tiempo de irradiación se incrementa la cristalinidad u ordenamiento (Figura 6b), lo cual indica que los tiempos óptimos de síntesis oscilan de 3 a 10 minutos, dependiendo del grado de cristalinidad y tamaño de partícula deseado; cabe destacar que a tan solo 3 minutos de irradiación se logran obtener CTH puros con componente interlamilar metavanadato, se ensayó además que a tiempos menores de irradiación (3 minutos) no se logra obtener la estructura deseada como se muestra en la Figura 1.4a.

En cuanto a la potencia de irradiación cabe mencionar que se ensayaron 2 potencias a 25 y 45 KHz, teniendo en todos los casos que a 25 KHz a un mismo tiempo de irradiación se obtuvieron muestras con mayor cristalinidad.

En la Tabla 1 muestra los valores de las áreas superficiales específicas determinadas por el método BET (Brunauer-Emmett-Teller) multipunto y el tamaño promedio de poro determinado por el método BJH (Barrett-Joyner-Halenda).

Tabla 1. Area superficial específica y tamaño de poro para las series HTMBV y HTMVA.

Serie	Muestra	Area sup. Esp. BET [m ² /g]	Tamaño de poro BJH [Å]
HTMBV	HTMV-3B	0.4533	107.8876
	HTMV-5B	0.6276	146.4681
	HTMV-8B	1.5489	157.2934
	HTMV-10B	2.2342	201.8847
	HTMV-20B	1.5478	187.7871
	HTMV-40B	1.6384	150.6416
HTMVA	HTMV-3A	0.2112	192.5231
	HTMV-5A	0.3425	173.2352
	HTMV-8A	0.7253	162.5842
	HTMV-10A	0.8026	145.1489
	HTMV-20A	No determinado	No determinado
	HTMV-40A	No determinado	No determinado

Puede observarse para la serie HTMBV que las muestras sintetizadas de 3 a 10 min de irradiación de ultrasonido, que a medida que se incrementa el tiempo de irradiación los valores del área superficial específica y del tamaño promedio de poro se incrementan, aunque al pasar de 10 a 20 y 20 a 40 minutos de irradiación de ultrasonido se invierte la tendencia, es decir el valor del área superficial específica y del tamaño promedio de poro disminuyen, lo cual acorde a lo observado por difracción de rayos X, la muestra más cristalina presenta mayor valor de área superficial específica y mayor porosidad. Para la serie HTMVA se observa el mismo patrón de comportamiento aunque los valores correspondientes a la porosidad se

comportaron de manera inversa. Al comparar ambas series se observa que en todos los casos a un mismo tiempo de irradiación las muestras sintetizadas en medio básico presentan valores mayores de área específica. De esta manera se tiene que la muestra más cristalina y que presenta mejores propiedades texturales para la sorción del CO_2 (mayor valor de área superficial específica ($2.23 \text{ m}^2/\text{g}$) y mayor porosidad (201.8 \AA)) de ambas series HTMVA y HTMV, fue la muestra HTMV-10B sintetizada en medio básico a potencia de 25 KHz a 10 minutos de irradiación de ultrasonido.

Para las series CTHN y UEA el procedimiento de optimización se efectuó de la misma manera que para las HTMVA y HTMVB obteniendo los siguientes resultados.

Serie CTHN

Los difractogramas de rayos X presentados en la Figura 6 corresponden a las muestras CTHN10, CTHN20 y CTHN30, sintetizadas por el método coprecipitación con irradiación de ultrasonido.

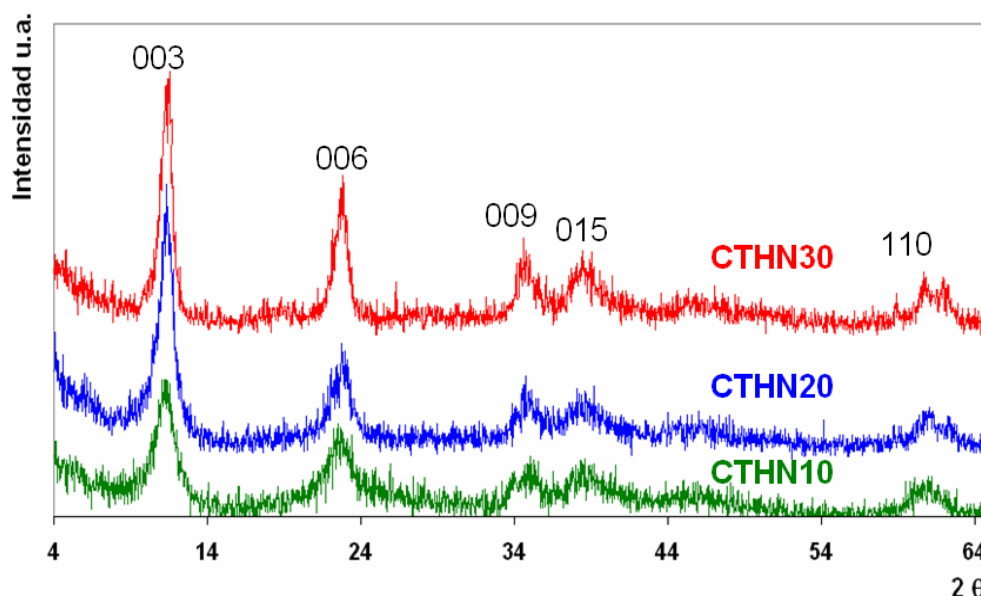
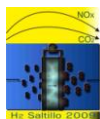


Figura 6. Difractogramas de rayos X de los CTH CTHN10, CTHN20 y CTHN30.

Se puede observar el mismo comportamiento que para las series con metavanadato (HTMVB y HTMVA) es decir que al incrementar el tiempo de irradiación con ultrasonido, se favorece la cristalización aunque para esta serie abajo de 10 minutos de irradiación con ultrasonido no se logró obtener de manera pura, la fase cristalina correspondiente a un CTH y en este caso el tiempo óptimo de síntesis (muestra más cristalina) fue de 30 min, a tiempos mayores de irradiación se observó que la muestra pierde cristalinidad.



En la Tabla 2 se reportan las áreas superficiales específicas obtenidas por el método BET multipuntos, para las muestras sintetizadas. Puede apreciarse de manera general que a medida que se incrementa el tiempo de irradiación de ultrasonido, los valores de las áreas superficiales específicas y del tamaño promedio de poro tienden a disminuir. Al comparar con las series HTMBV y HTMVA sigue la misma correspondencia área-tamaño de poro, es decir a mayores valores de área mayores valores de poro promedio.

Tabla 2. Valores de área superficial específica y del tamaño promedio de poro de los CTH: CTHN10, CTHN20 y CTHN30.

Muestra	Area superficial específica BET [m ² /g]	Tamaño de poro BJH [Å]
CTHN10	81.2	29
CTHN20	79.4	24
CTHN30	58.9	22

Para este caso la muestra con mayores posibilidades para la captura de CO₂ con base a las características texturales más que por la cristalinidad es la muestra CTHN-10B, ya que en trabajos anteriores hemos encontrado dependencia en cuanto a la sorción de aniones con el área superficial específica y la porosidad más que con la cristalinidad^{8y9}.

Serie UEA

Los difractogramas de rayos-X presentados en la Figura 7 corresponden a las muestras UEA10, UEA20 y UEA30, sintetizadas por el método sol-gel con irradiación de ultrasonido. Puede observarse que siguen básicamente el mismo comportamiento que las series HTMBV, HTMVA y CTHN por lo que al incrementar el tiempo de irradiación con ultrasonido, se favorece la cristalización en este caso se replican los tiempos que para la serie CTHN y nuevamente debajo de 10 minutos no se logra obtener la fase cristalina característica de los CTH, en este caso al comparar con la tarjeta 220700, de nueva cuenta el espaciamiento interlaminar casi del mismo tamaño que para el anión carbonato, lo que indica que en este caso los aniones interlaminares se posicionaron paralelamente a las láminas de brucita modificada^{8y10}.

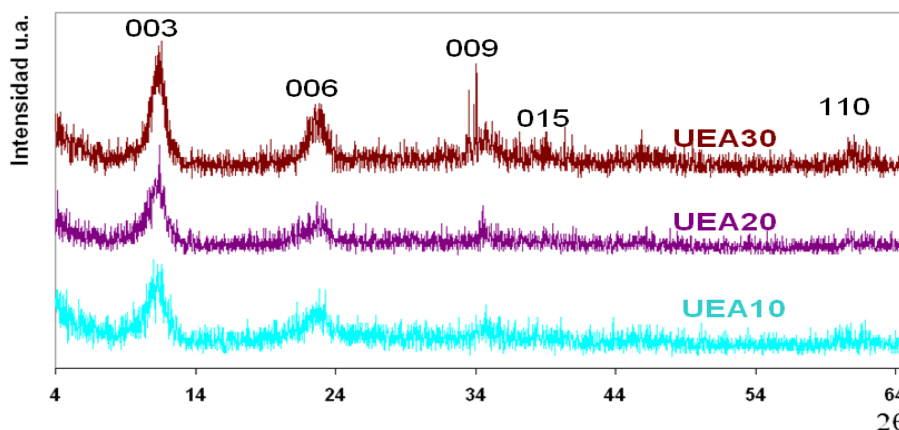


Figura 7. Difractogramas de difracción de rayos X de los CTH UEA10, UEA20 y UEA30.

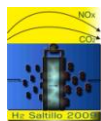
En la Tabla 3 se reportan los valores del área superficial específica calculados por el método BET multipunto y el tamaño promedio de poro determinado por el método BJH para los CTH con componente etóxido-acetilacetato serie UEA.

Tabla 3. Valores del área superficial específica y del tamaño promedio de poro de los CTH UEA10, UEA20 y UEA30.

Muestra	Area superficial específica BET [m ² /g]	Tamaño de poro BJH [Å]
UEA10	248	36.41
UEA20	241	35.39
UEA30	221	33.61

Como se observa que en esta serie los valores varían en menor proporción que para las series HTMVb, HTMVa y CTHN aunque mantiene la tendencia en cuanto al comportamiento observado en relación al valor del área superficial y la porosidad, mayores porosidades dan como resultado en estas muestras, mayores valores de áreas superficiales específicas. Para este caso al igual que en la serie nitrada (CTHN) se selecciona en base a las propiedades texturales, a la muestra sintetizada a 10 minutos de irradiación (UEA10).

Finalmente al comparar todo los materiales seleccionados en cuanto a sus propiedades texturales, es notorio que cada espécimen posee características interesantes y únicas que justifican su empleo para la sorción del CO₂, pues cada uno prevé un comportamiento específico que pueda orientar a determinar que material, con base al costo beneficio, es el más idóneo para la captura del CO₂. Las propiedades que sobresalen en cada serie son:



- Muestra HTMV-10B: mayor ordenamiento o cristalinidad de toda su serie, valor de área superficial muy bajo comparado con las muestra CTHN10 y UEA10, pero muy alta porosidad (202 \AA) lo cual podría prever gran movilidad para el CO_2 durante el proceso de sorción e intercambio con el metavanadato.
- Muestra CTHN10: aunque no es la más cristalina de su tipo, pero posee buena área superficial específica ($81 \text{ m}^2/\text{g}$) y un valor relativamente bajo de porosidad (29 \AA) lo que no pudiera dar buena movilidad del CO_2 a pesar del área, aunque este material en cuanto al costo es el más barato de obtener.
- Muestra UEA10: tampoco es la más cristalina, pero comparado con las muestras HTMV-10B y CTHN10 posee un muy alto valor de área superficial específica ($248 \text{ m}^2/\text{g}$) y un valor de porosidad de 36 \AA . En este caso podría ser determinante el valor del área superficial más que el valor de la porosidad.

4. –Conclusiones

- Se sintetizaron CTH libres de impurezas por los métodos: de reconstrucción de la estructura y componente interlaminar metavanadato (series HTMVB y HTMVA), coprecipitación con componente interlaminar nitrato (serie CTHN) y sol gel con componentes interlaminares etóxido-acetilacetato (serie UEA) mediante irradiación de ultrasonido a tan solo 3 minutos de irradiación para las muestras con metavanadato y 10 para las muestras nitradas y etóxido-acetilacetato.

-En cuanto al tratamiento con ultrasonido, se favorece la cristalinidad con el incremento del tiempo de irradiación hasta un tiempo óptimo de 10 min para las series HTMVB y HTMVA y de 30 min para las series CTHN y UEA10, arriba de estos tiempos las muestras pierden cristalinidad.

-Con respecto al efecto del pH durante el proceso de síntesis a un mismo tiempo de irradiación con ultrasonido, se advierte en todos los casos para medio básico, se obtienen materiales más cristalinos de mayor tamaño de partícula tomando como referencia el pico de difracción, por lo que el pH óptimo recomendado en todos los casos es arriba de 10.

-A diferencia de los métodos convencionales reportados (autoclave) el método de irradiación de ultrasonido disminuye: los tiempos de síntesis (24-72 horas a minutos) y las condiciones de operación (sistemas presurizados a alta temperatura a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ y presión atmosférica), además de tener la ventaja de poder controlar propiedades tales como: la cristalinidad y la superficie específica, las cuales se encontró, son una función del tiempo de irradiación.



-Los materiales sintetizados poseen propiedades estructurales, texturales y cristalográficas adecuadas para la sorción ó captura del CO₂, orientadas en el sentido de que cada material posee combinaciones únicas en cuanto a sitios de intercambio disponibles, tipo de anión interlaminar, cristalinidad, área superficial específica y cristalinidad disponible.

5.- Agradecimientos

- Al ICyTDF y al IPN por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto con número de registro: SIP/DF/2007/074.
- Al laboratorio de Catálisis y Materiales de la SEPI de ESIQIE.
- A la ESFM por las facilidades otorgadas para la realización de la técnica de Difracción de rayos X.

6.- Referencias

- ¹ F. Cavani, E. Trifiro, A. Vaccari, *Catal. Today* 2 (1991) 173.
- ² G. Fetter, E Ramos, M.T. Olguin, P. Bosch, T. López, S. Bulbulian, *J. of Radioanal. and Nucl. Che.* 69 (1997) 221.
- ³ V. Rives, M.A. Ulibarri, *Coord. Chem. Rev.* 61 (1999) 181.
- ⁴ G. Fetter, F. Hernández, A.M. Maubert, V.H. Lara, P. Bosch, *J. Porous Mater.* 4 (1997) 27.
- ⁵ M. Belloto, R. Rebours, O. Clause, L. Lynch, D. Bazin, E.A. Elkim, *The J. of Phys. Chem.* 20 (1996) 8535.
- ⁶ E. L G. Nava, G. Pacheco, G. Fetter, P. Bosch, S. Bulbulian, *J. of Radional. and Nucl. Chem.*, 207 (1996) 263.
- ⁷ E. López-Salinas, N. Tomida, T. Matsui, E. Suzuki, Y. Ono, *J. of Molec. Catal.* 81(1993) 397.
- ⁸ S.P. Paredes, G. Fetter, P. Bosch, S. Bulbulian, *J. of Mater. Sci.* 41 (2006) 3377.
- ⁹ S.P. Paredes, G. Fetter, P. Bosch, S. Bulbulian, *J. of Nucl. Mater.* 155 (2006) 359.
- ¹⁰ M.T. Olguin, P. Bosch, D. Acosta, S. Bulbulian, *Clays and Clay Miner.* 46 (1998) 567.