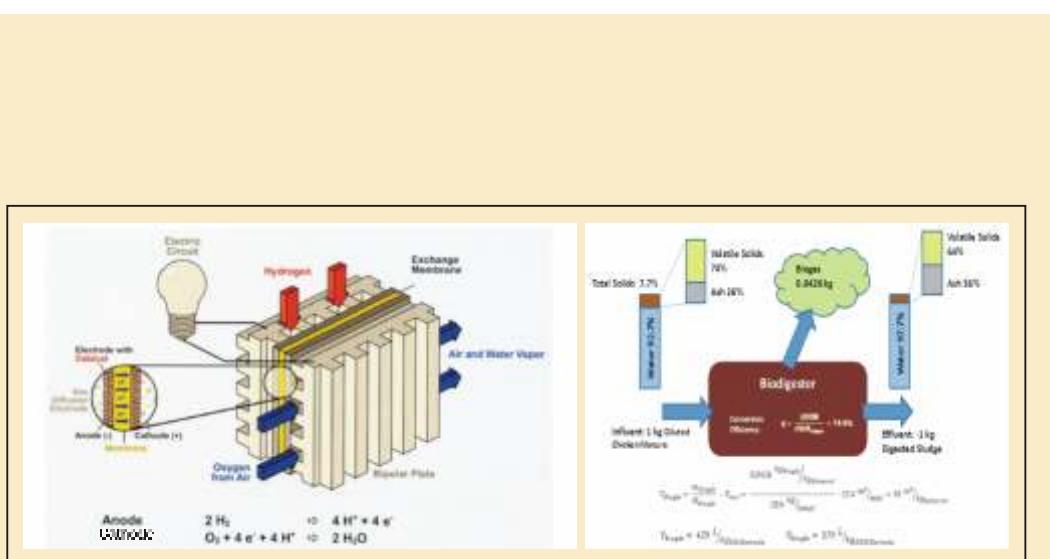


# QUÍMICA HOY

## Chemistry Sciences

Revista de la Universidad Autónoma de Nuevo León  
a través de la Facultad de Ciencias Químicas

Octubre - Diciembre 2013



Revista Química Hoy



@QuimicaHoy



**UANL**  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

Una publicación de la  
Universidad Autónoma de Nuevo León

Dr. Jesús Añor Rodríguez  
Rector

Ing. Rogelio G. Garza Rivera  
Secretario General

Dr. Juan Manuel Alcocer González  
Secretario Académico

Lic. Rogelio Villarreal Elizondo  
Secretario de Extensión y Cultura

Dr. Celso José Garza Acuña  
Director de Publicaciones

Dr. Sergio Salvador Fernández Delgadillo  
Director de la Facultad de Ciencias Químicas

Dra. Idalia Gómez de la Fuente  
Editor Responsable

**CONSEJO EDITORIAL**  
Dr. Teófilo Rojo Aparicio  
Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco

Dr. Aarón Sánchez Juárez  
Centro de Investigación en Energía, UNAM

Dr. Miguel José Yacamán  
University of Texas at San Antonio

**COMITÉ EDITORIAL**  
Dr. Tomás C. Hernández García  
Dra. Yolanda Peña Méndez  
Dra. Perla Elizondo Martínez  
Dra. María Teresa Garza González  
Dr. Alejandro Vázquez Dímas

**COMITÉ EDITORIAL INVITADO**  
Dra. Sarah Ruth Messina Fernández  
Dra. Cecilia López Mata  
Dra. Claudia Estela Saldaña Durán

**REDACCIÓN**  
Dra. María de Jesús de la Garza Galván  
Juan Manuel Ceballos Guzmán

**DISEÑO**  
Lic. Cuauhtémoc Jesús Cruz Núñez

Química Hoy Chemistry Sciences, Volumen 3, Nº 4, Octubre - Diciembre de 2013. Fecha de publicación: 13 de Diciembre de 2013. Revista trimestral, editada y publicada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Químicas. Domicilio de la publicación: Edificio Redondo 3er. piso, FCQ-UANL, Av. Pedro de Alba S/N Cd. Universitaria, C.P. 66400, San Nicolás de los Garza, N. L. Tel. +52 81 83294000 Ext. 6240. Fax +52 81 83765375. Editor Responsable: María Idalia del Consuelo Gómez de la Fuente. Impresa por: Servicios Gráficos de la FCQ, Av. Pedro de Alba S/N Cd. Universitaria, C.P. 66400, San Nicolás de los Garza, N. L. Fecha de terminación de impresión: 19/12/2013. Tiraje: 500 ejemplares. Distribuido por: Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Químicas, Alfonso Reyes 4000 norte 5° piso, San Nicolás de los Garza, N.L., México, C.P. 64440.

Número de reserva de derechos al uso exclusivo del título Química Hoy Chemistry Sciences otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2009-111812460500-102, de fecha 18 de noviembre de 2009. Número de certificado de licitud de título y contenido 14,920 de fecha 23 de Agosto de 2010, concedido ante la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. ISSN 2007-1183. Registro de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial No. 1,182,083.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores.

Prohibida su reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido editorial de este número.

## Contenido

Octubre - Diciembre de 2013, Vol. 3, No. 4

- 1 Efecto de la temperatura en la respuesta electroquímica en un electrolizador tipo PEM utilizando como ánodo Pt-IrO<sub>2</sub>/Ebonex-Ta**  
J.C. Cruz, R. Mena-Rivero y E. Fuentes Quezada
- 6 Caracterización electroquímica de una celda de combustible utilizando como cátodo Pt-IrO<sub>2</sub>/Ebonex-Ta**  
J.C. Cruz, R. Mena-Rivero y E. Fuentes Quezada
- 13 Aplicación del análisis probabilístico de seguridad en el diseño de una planta productora de hidrógeno**  
Teresa Ruiz Sánchez, Juan Luis Francois, Pamela F. Nelson y M. Javier Cruz-Gómez
- 21 Análisis FT-IR y DLS de una probable ruta química para la síntesis de nanopartículas de CuInSe<sup>2</sup>: influencia de la concentración de Selenio**  
A. Suárez-Gómez, R. Castañeda-Valderrama, M.A. Carreón-Álvarez y M. Sánchez-Tizapa
- 26 Determinación de un modelo de cinética de cristalización de ZnO**  
Ana C. Alanis, Graciela Maaward, Carolina Platt, Franz W. Voss y Alejandro J. Álvarez
- 35 Obtención de hidrógeno utilizando la energía residual de las pilas usadas**  
José Antonio Guevara García, Beatriz Morales Chamorro, Brian Manuel González Contreras y Miguel Ángel Munive Rojas
- 38 Estudio de la variación del contenido de W en catalizadores de carburos en la reacción de HDS de una molécula modelo.**  
Adriana Isabel Reyes de la Torre, José Aarón Melo Banda, Ana María Mendoza Martínez, Rebeca Silva Rodrigo, Benjamín Portales Martínez, Nancy Patricia Díaz Zavala y Beatriz Escobar Morales.
- 42 Cuantificación de emisiones de metano en digestores anaerobios rurales empleados en el tratamiento de residuos agrícolas**  
Bernd Weber y Sabrina Eichenauer



## Estudio de la variación del contenido de W en catalizadores de carburos en la Reacción de HDS de una molécula modelo.

**Adriana Isabel Reyes de la Torre<sup>a\*</sup>, José Aaron Melo Banda<sup>a</sup>, Ana María Mendoza Martínez<sup>a</sup>, Rebeca Silva Rodríguez<sup>a</sup>, Benjamin Portales Martínez<sup>a</sup>, Nancy Patricia Díaz Zavala<sup>a</sup>, Beatriz Escobar Morales<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Juventino Rosas y Jesús Urueta S/N Col. Los Mangos, C. P 89440, Cd. Madero, Tamaulipas México.

<sup>b</sup>Instituto Tecnológico de Cancún, Avenida Kabáh Km. 3 Col. Centro C.P. 77500 Cancún, Quintana Roo, México.

\*E-mail airt22@hotmail.com

Recibido 16 noviembre 2013, Aceptado 21 diciembre 2013

### Resumen

Se sintetizaron una serie de catalizadores de carburos bimetálicos de Ni-W soportados  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mediante la técnica de Volpe y Boudart. Los óxidos de NiW, fueron preparados en relaciones atómicas. (Ni/Ni+M) = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9, se utilizó como soporte alúmina comercial Criterion (HDS-281). Los metales se impregnaron mediante la técnica de humedad incipiente, solubilizando las sales mediante una solución amoniacaal 4:1 (NH<sub>4</sub>OH-H<sub>2</sub>O), dicha solución contiene la sal de los metales a impregnar en la concentración deseada. Las sales utilizadas para la impregnación fueron el nitrato de níquel Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O y el metatungstato de amonio (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>W<sub>12</sub>O<sub>39</sub>.H<sub>2</sub>O, los materiales se secaron a 110 °C, posteriormente, se calcinaron a 500 °C. Los catalizadores fueron caracterizados estructuralmente mediante difracción de rayos-X, las propiedades texturales fueron determinadas mediante la técnica de fisisorción de nitrógeno, así también se determinó su acidez total. Los materiales fueron reducidos utilizando un flujo de H<sub>2</sub>, durante una hora a 400 °C y, posteriormente, fueron evaluados en reacción de Hidrodesulfuración (HDS) de tiofeno en un reactor en U a presión atmosférica y 350 °C durante 5 horas. Los resultados mostraron que el catalizador de NiW/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a una relación de 0.5, proporcionó la mejor reacción de HDS, de un 33.18 % de HDS/gr, superando así al catalizador comercial NiMoS/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y la selectividad fue hacia el producto principal n-butano en un 100%.

**Palabras clave:** carburos, hidrodesulfuración, tiofeno, n-butano.

### 1. Introducción

El proceso de la hidrodesulfuración (HDS) de fracciones del petróleo es actualmente un proceso de hidrogenación específica y de purificación. La necesidad de explotar al máximo el valor potencial de diversas fracciones que no se habían tratado previamente, ha propiciado en los últimos años el desarrollo de nuevos esquemas de refinación.

El proceso usado para este propósito es la hidrodesulfuración, el cual es el tratamiento catalítico con hidrógeno para convertir los compuestos de azufre y ácido sulfídrico. Posteriormente el H<sub>2</sub>S se separa y se convierte a azufre elemental. Durante el proceso de HDS de los crudos pesados y residuos ocurre simultáneamente la hidrodesintegración [1]. El azufre se encuentra en forma de tioles, mercaptanos, sulfuros, disulfuros y tiofeno. El azufre de las fracciones pesadas desintegradas es tiofénico, aunque las fracciones correspondientes de destilación atmosférica pueden contener cantidades apreciables de azufre no tiofénico [2].

En la investigación de nuevos materiales catalíticos, se ha despertado un especial interés en la preparación de compuestos cerámicos como carburos de metales de transición con áreas específicas altas [3]. Estos materiales poseen una resistencia mecánica, y actividades catalíticas elevadas para su aplicación en procesos de

hidrotratamiento, como en es el caso de la HDS [4]. Dentro de este tipo de nuevos materiales, los sólidos más estudiados son los carburos de molibdeno y tungsteno, por sus actividades similares a un catalizador comercial de NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en reacciones de hidrotratamiento, especialmente en la HDN, inclusive para reacciones de hidrogenación de CO [5]. De hecho las propiedades catalíticas de los carburos están condicionadas por su forma estructural y su estequiometría. Se han estudiado carburos y nitruros monometálicos modificados por aditivos como el fósforo, y se encontró que la promoción del P aumenta la dispersión del metal, modifica la distribución y estabilización de los sitios ácidos y ellos permiten una buena hidrogenación y propiedades de HDT.

### 2. Metodología Experimental

Los óxidos de Ni-W soportados fueron preparados en relaciones atómicas: (Ni/Ni+M) = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9, se utilizó como soporte la  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de marca comercial Criterion (HDS-281). Los metales se impregnaron mediante la técnica de espreado en un sistema de rociío del soporte, solubilizando las sales mediante una solución de NH<sub>4</sub>OH-H<sub>2</sub>O, dicha solución contiene la sal del metal a impregnar en la concentración deseada. Las sales utilizadas para la impregnación fueron: nitrato niqueloso, y de amonio. Después de la impregnación, los materiales



se secaron desde 110 °C para finalmente ser calcinados hasta 500 °C. Los óxidos precursores de metales de transición se colocaron en un reactor de cuarzo. El reactor fue colocado dentro de un horno tubular horizontal conectado a un controlador de temperatura programable, el cual monitorea la temperatura del horno, y mediante rampas de calentamiento dependiendo del metal a preparar, se redujeron en una atmósfera de NH<sub>3</sub> hasta formar un oxinitruro ( $\approx$ 550°C). Después de alcanzar esta temperatura se hizo pasar una mezcla de CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> a flujos variados hasta 700°C y se mantuvo el flujo en la temperatura final por espacio de 1 hora. Los carburos y nitruros finales fueron enfriados hasta temperatura ambiente, para finalmente ser pasivados en una mezcla de O<sub>2</sub>/He (1% de oxígeno) para evitar la oxidación en masa del catalizador preparado. Los catalizadores fueron caracterizados en difracción de rayos-x usando un difractómetro BRUKER axs D8 ADVANCE, también se les determinó sus propiedades texturales mediante fisisorción de nitrógeno (BET) así mismo también se les determinó la acidez total. Los catalizadores fueron evaluados en reacciones de HDS de tiофeno en un reactor en U a presión atmosférica y 350°C, los materiales fueron activados previamente con un flujo de hidrógeno a 400°C por 1 hora.

### 3. Resultados y discusión

La figura 1 muestra los catalizadores de carburos de la serie de Ni-W soportados en  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (criterio 281), los cuales se prepararon variando la relación atómica (Ni7Ni+M) = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9, se pueden observar los picos característicos de la fase de W del plano (0 0 1) a 31.5°, en casi todas las muestras menos en la de relación de 0.1 y 0.5 la fase de W del plano (1 0 0) y (1 0 1) a 35.7°, 48.2° de la escala 2*θ*, los presenta todas la muestras a excepción la de relación de 0.1.

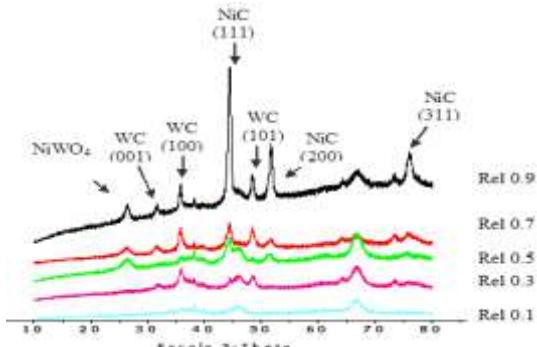


Figura 1. Patrones de difracción de carburos bimetálicos de la serie de Ni-W soportados en en  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (criterio 281).

La fase del soporte de alúmina fue identificada con la tarjeta 04-0872 de la J.C.P.D.S, cuyos picos se localizan en 38, 46, y 67 °C en la escala 2*θ*, también se observa la presencia de óxido precursor alrededor de los 27° en la escala 2*θ* en las muestras de NiWC-0.9, de NiWC-0.3, y de NiWC-0.5. En la tabla 1 se muestran propiedades estructurales de los catalizadores de carburos de Ni-W soportados en  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtenidos mediante la difracción de rayos-X.

Tabla 1. Propiedades estructurales de los catalizadores de carburos de Ni-W/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Catalizador	Tamaño de Cristal (Å) <sup>a</sup>					
	(00 1)	(10 0)	(10 1)	(11 1)	(20 0)	(31 1)
	WC	WC	WC	NiC	NiC	NiC
NiWC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rel 0.1	----	11	----	56	----	----
NiWC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rel 0.3	65	126	123	115	----	----
NiWC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rel 0.5	----	79	----	203	213	33
NiWC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rel 0.7	84	126	142	182	218	61
NiWC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rel 0.9	72	149	167	303	278	147

Todos los materiales fueron analizados después de la pasivación realizada al final de la preparación. Como el oxígeno en la superficie de los catalizadores cubre parte del área determinada durante el análisis, es de esperarse que se disminuyan proporcionalmente al área original del soporte, aun a ciertas condiciones de pretratamiento manejadas durante el análisis en la determinación de áreas específicas y en otras propiedades estructurales.

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos de área de los catalizadores de carburos de las series de NiW soportados. Como se puede observar se muestra un aumento del área específica conforme aumenta la concentración de tungsteno (fase activa) dado que el material tiene capacidades adsorptivas semejantes al níquel, es capaz de crear una retención molecular de nitrógeno, creando así multicapas cuando se le determina las propiedades texturales, lo cual es muy congruente, con el área específica que cubren los metales al ser depositados sobre la superficie del soporte.

Tabla 2. Resultados de Áreas específicas de los catalizadores de carburos de Ni-W/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

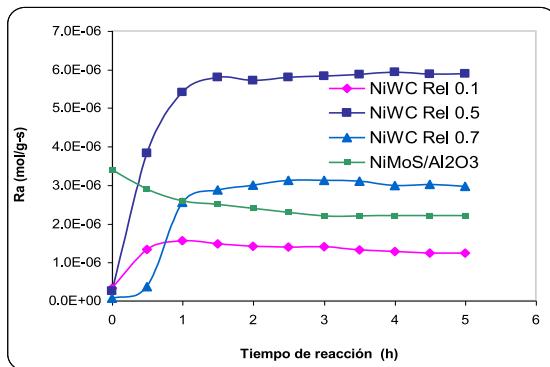
Muestra	Área superficial (m <sup>2</sup> /g)
$\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	298
NiWC/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rel 0.1	237
NiWC/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rel. 0.3	213
NiWC/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rel. 0.5	263
NiWC/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rel. 0.7	162
NiWC/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rel. 0.9	140

De hecho son pocos los estudios sobre la caracterización de estos sólidos mediante TPD-NH<sub>3</sub>, pero se necesita evaluar la intensidad de la acidez presente en los materiales, por lo que se tomaron muestras representativas de la serie preparadas de Ni-W. En la tabla 3, se presentan los valores obtenidos de acidez total en ( $\mu\text{mol NH}_3/\text{g}$ ) y en ( $\mu\text{mol NH}_3/\text{m}^2$ ) de los catalizadores de carburos bimetálicos de NiW soportados en  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  (Criterion comercial 281).

**Tabla 3.** Acidez total de los carburos bimetálicos de NiW soportados en  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  (Criterion comercial 281)

Catalizador	Acidez $\mu\text{mol NH}_3/\text{g}$	Acidez $\mu\text{mol NH}_3/\text{m}^2$
NiWC/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Rel. 0.1	85	0.30
NiWC/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Rel. 0.5	62	0.46
NiWC/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Rel. 0.7	139	0.60
NiMoS/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	81	0.51

La figura 2 ilustra los resultados obtenidos de la evaluación de los catalizadores empleados en la reacción de HDS del tiofeno. Se puede observar que el catalizador industrial alcanza el estado pseudoestable a las 3 horas. Al principio de la reacción no mostraron actividad, hasta después de transcurrida la primera hora, con excepción del catalizador de NiW/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  con una relación de 0.3 que desde un inicio mostró un poco de actividad catalítica, desactivándose a la primera hora de reacción. Por otro lado, el catalizador con una relación de 0.1 no mostró una actividad superior al de referencia, los catalizadores que superaron al industrial fue el de relación de 0.5 y 0.7.



**Figura 2.** Velocidades de reacción de los carburos de Ni-W soportados contra el catalizador industrial NiMoS/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

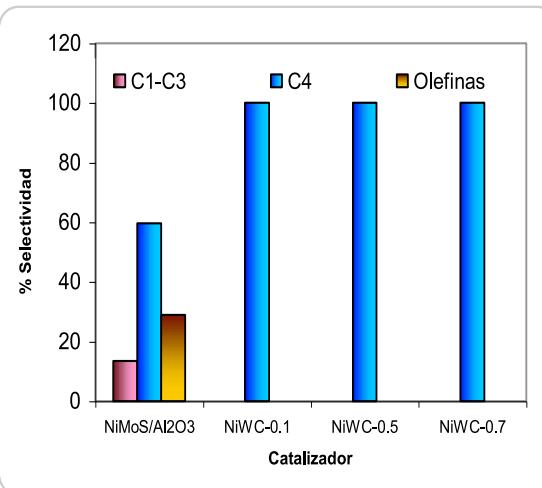
La tabla 4 presenta los resultados de la conversión y la velocidad de reacción de los carburos de NiW y el porcentaje de HDS por g y por m<sup>2</sup>.

**Tabla 4.** Conversión y Velocidad de reacción de los carburos de la serie de Ni-W en la reacción de HDS del tiofeno.

Catalizador	Área (m <sup>2</sup> /g)	% HDS/g	% HDS/m <sup>2</sup>	R <sub>A</sub> Específica (mol/g-s)	R <sub>A</sub> (Intríseca) (mol/m <sup>2</sup> s)
NiWC/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Rel. 0.1	237	8.6	0.036	1.235E <sup>-6</sup>	5.210E <sup>-9</sup>
NiWC/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Rel. 0.5	263	33.1	0.126	5.458E <sup>-5</sup>	2.075E <sup>-7</sup>
NiWC/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Rel. 0.7	162	16.3	0.100	2.952E <sup>-6</sup>	1.822E <sup>-8</sup>
NiMoS/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	207	16.7	0.080	2.122E <sup>-6</sup>	1.025E <sup>-8</sup>

Los productos de reacción de la hidrodesulfuración de HDS del tiofeno se distribuyeron de la siguiente manera en el cromatógrafo: primeramente se obtuvo la fracción de ligeros como el metano, etano y propano (C1-C3), posteriormente la fracción de n-butano, olefinas (-2 butenos, trans-2 buteno y 1 buteno) y finalmente se obtiene la fracción de tiofeno que no reaccionó.

La figura 3 muestra los porcentajes de selectividad de los carburos de Ni-W soportados, podemos observar que todos los catalizadores son selectivos hacia la obtención del butano.



**Figura 3.** Porcentaje de Selectividad n-Butano de los carburos de Ni-W soportados.

#### 4. Conclusiones

La presente investigación permitió correlacionar las propiedades y las condiciones estructurales con las condiciones de síntesis de los carburos de metales de transición Ni-W/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , aplicados en la Hidrodesulfuración del tiofeno. Las condiciones de síntesis utilizadas en la preparación de catalizadores de carburos de metales de transición de Ni-W, mediante la técnica de Volpe and Boudart permitió obtener la fases

de Ni-W segregadas debido al efecto de la temperatura de síntesis y la atmósfera de reducción. Las áreas específicas de la serie de Ni-W/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fueron función del aumento de la concentración de W, ya que éstas disminuyeron debido al mayor contenido del metal. La acidez no fue causante de las propiedades catalíticas, ya que los materiales más activos presentaron menor acidez. En la hidrodesulfuración del tiofeno, el carburo de Ni-W con relación de 0.5 presentó el mejor resultado que el catalizador industrial de sulfuro de NiMo/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ya que removió un 33.18% HDS/gr, es decir 2 veces más que el catalizador comercial, además que presentó un mayor poder hidrogenante dado que los catalizadores de Ni-W fueron más selectivos hacia la obtención del butano. El comportamiento catalítico de estos materiales se atribuye principalmente a las fases cristalinas y a su arreglo estructural [6] ya que no infieren las propiedades texturales en las propiedades catalíticas en comparación con los sulfuros.

## 5. Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico de Cancún por su apoyo en la caracterización de los catalizadores por DRX.

## 6. Referencias

1. L. Volpe and M. Boudart, Journal of Solid State Chemistry, Vol. 59, No. 3, **1985**, pp. 332-347.
2. Melo Banda J. A., Tesis de Doctorado, junio del 2000
3. M. Vrinat, M. Breysse, C. Geantet, J. Ramirez and F. Mas- soth, "Effect of MoS<sub>2</sub> Morphology on the HDS Activity of Hydrotreating Catalysts," Catalysis Letters, Vol. 26, No. 1-2, **1994**, pp. 25-35
4. J. S. Lee, T. Oyama and M. Boudart, Journal of Catalysis, Vol. 106, No. 1, **1987**, pp. 125-133.
5. Ramanathan and S. T. Oyama, The Journal of Physical Chemistry, Vol. 99, No. 44, **1995**, pp. 16365-16372.
6. Reyes and Melo, Advances in Materials Physics and Chemistry, **2013**, 3, 206-208.

