
Uso del caolin activado como soporte de un prototipo de catalizador en la isomerización de n-pentano

L. J. Rodríguez Castillo¹, A. Castillo Mares*, R. García Alamilla¹, J.A. Melo Banda¹ G. Alonso Núñez², R. Silva Rodrigo¹

¹Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Juventino Rosas y Jesús Urueta, Col. Los Mangos, 89440 Cd. Madero, Tam. México

²Centro de Nanociencia y Nanotecnología-UNAM, km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada, 22800 Ensenada, B.C. México

*Autor para la correspondencia: Alfredo Castillo Mares, castimar@hotmail.com Tel/fax. +52 (833) 215-85-44

Use of activated kaolin as support of a prototype catalyst in the isomerization of n-pentane

Ús del caolí activat com a suport d'un prototipus de catalitzador en la isomerització d'n-pentà

Recibido: 12 de noviembre de 2008; revisado: 9 de febrero de 2009; aceptado: 11 de mayo de 2009

RESUMEN

Por medio del proceso de isomerización se pretende aumentar el número de octano de las gasolinas mediante el agregado de hidrocarburos ramificados saturados mejorando así la calidad y valor comercial de las mismas. En este trabajo se prepararon soportes con base caolín tratado con soluciones 2M de HCl, H₂SO₄ y HNO₃ e impregnados con Pt, los cuales fueron probados en la isomerización de n-pentano en una microplanta de flujo continuo. Los materiales se caracterizaron mediante las técnicas BET y BJH, difracción de rayos X, titulación potenciométrica con n-butilamina y TPD de n-butilamina. La titulación potenciométrica permitió evaluar la acidez a condiciones ambientales en contraste con la distribución de la acidez con respecto a la variación de la temperatura mediante la técnica de TPD con n-butilamina. Los resultados mostraron un notable incremento en las áreas específicas de los materiales después del tratamiento termoquímico y pérdida de la cristalinidad. El tipo de acidez varió desde media hasta fuerte. Los resultados de las conversiones de n-pentano fluctuaron entre 26 y 52% siendo el intervalo de las selectividades hacia el isopentano entre 52 y 67%. El material tratado con HCl fue el que proporcionó el mas alto valor hacia el producto deseado.

Palabras clave: caolín tratado, propiedades ácidas, isomerización n-pentano, TPD

SUMMARY

By means of the isomerization process it is tried to achieve the increase in the octane number of gasolines by adding branched saturated hydrocarbons enhancing the quality and commercial value of these. In this work supports were prepared with kaolin activated with 2M HCl, H₂SO₄ and HNO₃ solutions and impregnated with Pt which were tested in the isomerization of n-pentane in a continuous flow microplant. Materials were characterized by the BET and BJH methods, X-ray diffraction, potentiometric titration with n-butylamine and TPD with n-butylamine techniques.

Through potentiometric titration, acidity was evaluated at room conditions in contrast to the acid distribution in relation to temperature variation with the TPD with n-butylamine technique. Results showed a remarkable increase in the surface areas of the materials after the thermochemical treatment and loss of crystallinity. The acid type varied from medium to strong. Conversion results of n-pentane fluctuated between 26 and 52 % being the range of isopentane selectivities between 52 and 67 %.The material treated with HCl was the one that gave the highest value toward the desired product.

Key Words: treated kaolin, acid properties, n-pentane isomerization, TPD.

RESUM

Emprant el procés d'isomerització, es pretén augmentar el número d'octà de les gasolines mitjançant l'addició d'hidrocarburs ramificats saturats, millorant així la qualitat i el valor comercial d'aquestes. En aquest treball, es preparen suports amb base caolí tractat amb dissolucions 2M d'HCl, H₂SO₄ i HNO₃, i impregnats amb Pt. Aquests suports es proven en la isomerització d'n-pentà en una microplanta de flux continu. Els materials es caracteritzen mitjançant les tècniques BET i BJH, difracció de raigs X, titulació potenciomètrica amb n-butilamina i TPD d'n-butilamina. La titulació potenciomètrica permet avaluar l'acidesa en condicions ambientals en contrast amb la distribució de l'acidesa respecte a la variació de la temperatura mitjançant la tècnica de TPD amb n-butilamina. Els resultats mostren un notable increment en les àrees específiques dels materials després del tractament termoquímic, així com pèrdua de la cristalinitat. El tipus d'acidesa varia des de mitjana fins a forta. Els resultats de les conversions d'n-pentà fluctuen entre 26 i 52%, essent el interval de les selectivitats vers el isopentà entre 52 % i 67%. El material tractat amb HCl és el que proporciona el valor més alt de conversió en producte desitjat.

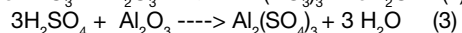
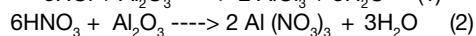
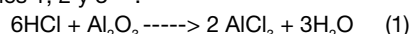
Mots clau: caolí tractat, propietats àcides, isomerització, n-pentà, TPD

INTRODUCCION

El combustible tradicional para los motores de combustión interna sigue siendo la gasolina, que se obtiene del procesamiento y refinación de diferentes corrientes hidrocarbúricas derivadas del petróleo. Ante el desmesurado incremento de la contaminación del aire en los últimos años, las nuevas gasolinas son el resultado de una reformulación adaptándolas a las condiciones atmosféricas locales, variaciones de estación y regulaciones ambientales. Debido a estas restricciones, la participación de procesos como la isomerización de parafinas ligeras ha cobrado gran importancia lo que ha propiciado un mayor interés en el desarrollo de nuevos catalizadores que sean más eficientes y económicos. La importancia del uso de las isoparafinas radica en que al emplearse en lugar de sus isómeros lineales, ocasiona un notable incremento en el número de octano de las gasolinas de mezclado ^[1].

La isomerización de alcanos lineales sigue adquiriendo una gran importancia como un medio para elevar el número de octano de las gasolinas reformuladas en vista de las regulaciones ambientales que obligaron a una drástica reducción en el contenido de compuestos aromáticos en el carburante. La reacción de isomerización se realiza empleando catalizadores "bifuncionales" que corresponden a un catalizador metálico disperso sobre un material ácido. La función metálica cataliza la reacción de deshidrogenación que se requiere en la formación de los alquenos. Metales nobles como Pt o Pd se usan frecuentemente para la deshidrogenación de alcanos. La función ácida (sitio Brønsted) cataliza la isomerización de alquenos en isoalquenos que finalmente son hidrogenados hacia isoalcanos sobre el metal ^[2]. Un beneficio adicional de un catalizador bifuncional es que la concentración de los alquenos en los poros del soporte generalmente es baja con lo que se minimizan las reacciones de desintegración y oligomerización. Esta última reacción conduce a la formación de coque que desactiva al catalizador ^[2]. Por lo tanto, la reacción dependerá de la presencia, número y fuerza de los centros ácidos presentes en el soporte del catalizador y de una buena dispersión del metal.

Los catalizadores empleados en la isomerización son de naturaleza diversa y para ello se utilizan sólidos ácidos fuertes tales como la mordenita ^[3], circonia sulfatada ^[4] y heteropoliácidos ^[5]. El uso del caolín tratado como soporte de un prototipo de catalizador para isomerización prácticamente es desconocido. La arcilla como tal no presenta las características de un soporte para un catalizador de isomerización siendo necesario someterla a un tratamiento termoquímico. El caolín bajo tratamiento ácido libera preferencialmente iones Al octaédricos de la estructura de la arcilla y forma enlaces Al-OH y Si-OH sin alterar la estructura del mineral ^[6]. Los rendimientos en aluminio por este procedimiento son altos y la reacción se lleva a cabo en unos minutos. Se espera que la reacción entre los ácidos inorgánicos y el caolín se realice de acuerdo con las reacciones 1, 2 y 3 ^[7]:



Las ventajas que podría presentar el uso del caolín como soporte son abundancia y bajo costo en comparación de la alúmina clorada o la circonia sulfatada ^[8] además de no contener elementos de carácter corrosivo. El presente trabajo se enfoca hacia el empleo del caolín tratado termoquímicamente como soporte de prototipo de catalizadores

monometálicos de Pt en la reacción de isomerización de *n*-pentano. En un trabajo previo se expuso el método de activación del caolín así como la influencia de éste sobre las propiedades ácidas del material ^[9].

MATERIALES Y MÉTODOS

Tratamiento termoquímico de los materiales e impregnación

Un caolín comercial (Sigma) se calcinó a 900°C para eliminar impurezas y humedad obteniéndose, KT. Posteriormente, se acidificó con soluciones H₂SO₄, HCl y HNO₃ 2M empleando como medio de agitación un baño ultrasónico Astron modelo 9D. Una vez efectuado el intercambio iónico, las muestras se lavaron con agua destilada. El secado y calcinado de las muestras se efectuó por 2 horas a 120 y 540°C, obteniéndose los materiales KTS2M, KTC2M y KTN2M, respectivamente ^[10].

En los prototipos de catalizadores para la reacción de isomerización se utilizó como fuente de platino el diamino-dinitroplatino, Pt(NH₃)₂(NO₃)₂, (Aldrich) para impregnar los soportes mediante la técnica de humedad incipiente y así obtener una concentración final de 0.3% en peso de Pt. La concentración seleccionada de platino se eligió con base en el estudio realizado con mordenita ^[3] y materiales similares ^[11-13]. Los caolines activados se secaron a 120°C por 2 horas y posteriormente se calcinaron a 350°C por 2 horas con una rampa de calentamiento de 10°C/min. De esta manera se obtuvo el óxido de platino. La reducción a Pt metálico se realizó "in situ" antes de llevar a cabo la reacción de isomerización y así recibieron la siguiente nomenclatura: Pt/KTS2M, Pt/KTC2M y Pt/KTN2M correspondiendo al caolín impregnado con platino y acidificado con soluciones de H₂SO₄, HCl y HNO₃ 2M, respectivamente.

Caracterización

La determinación de las propiedades texturales se llevó a cabo en un aparato Quantachrome Autosorb-1. Las muestras antes del análisis se sometieron a un tratamiento de desgasificación a 300°C para proceder a la determinación del área específica, volumen de poro y distribución de poro mediante la adsorción física a la temperatura del nitrógeno líquido de donde se obtuvieron las isotermas tanto para las curvas de adsorción como las de desorción. En los cálculos se emplearon los métodos BET y BJH (Barret, Joyner y Halenda). La técnica de rayos X permite determinar parámetros como la cristalinidad, la composición de las fases cristalinas y el estado de agregación de una sustancia dentro de una mezcla en fase sólida. Para este análisis se utilizó un difractor D8000-Advance AXS, el cual requirió de 0.5g de muestra.

La distribución de centros ácidos se cuantificó por medio de la titulación potenciométrica con *n*-butilamina. En la titulación potenciométrica se utilizaron 100 mg de catalizador suspendido en una solución de acetonitrilo y *n*-butilamina. Se agitó por 3 horas y se tomó la primera lectura o máxima fuerza ácida del material (MFA). Se continuó con la agitación y se tituló con *n*-butilamina a intervalos de 2 minutos hasta que la neutralización se completó ^[14]. Las titulaciones se llevaron a cabo con un potenciómetro digital Orion modelo 420A. El final de la neutralización se reportó como miliequivalentes de *n*-butilamina gastados por gramo de catalizador, meq *n*-BTA/g.

La acidez total y la distribución de centros ácidos se determinaron mediante la técnica de termodesorción pro-

gramada de *n*-butilamina empleando un equipo TA Instruments STD 2960, en atmósfera de N₂, con un flujo de 100 ml / min, desde la temperatura ambiente hasta 900° C con una rampa de calentamiento de 10° C / min previa saturación de los materiales con la amina [15].

Sistema de reacción

La reacción de isomerización de *n*-pentano se llevó a cabo en una microplanta de flujo continuo. Las condiciones de reacción fueron las siguientes: temperatura 250°C, presión atmosférica, temperatura del saturador 0°C, 350 mg de catalizador, flujo de reactante 10 ml/min y 3 horas de reacción. Previo a la reacción, el óxido de platino depositado sobre el catalizador se redujo a Pt metálico con un flujo de 10 ml /min de H₂ a 350°C por 1 hora. Los productos obtenidos de la reacción fueron analizados en un cromatógrafo Varian 3400 equipado con un detector de ionización de llama conectado en línea. El cromatógrafo de gases utilizó una columna de 23% SP-1700 en 80/100 Chromosorb de 6 m de longitud y 2 mm de diámetro interno.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización de los Materiales

El área específica, la porosidad y el volumen de poro son propiedades importantes en el campo del diseño de catalizadores y de la catálisis heterogénea. El área específica es un criterio fundamental para los catalizadores sólidos ya que determina la accesibilidad de las moléculas a los centros activos y se relaciona con frecuencia a la actividad catalítica. La arquitectura del poro de un catalizador heterogéneo controla los fenómenos de transferencia de masa y gobierna la selectividad en reacciones catalizadas [16]. El tratamiento debido al ácido, aunado al empleo de la energía ultrasónica, provocó en los materiales cambios importantes en sus propiedades texturales (Tabla 1). En estudios anteriores se reportó la influencia de la energía ultrasónica en comparación de la agitación magnética [9,10]. El tratamiento con ácidos o álcalis induce a marcados cambios en la estructura cristalina de los minerales del tipo aluminosilicato debido a la disolución de los iones estructurales y/o rearrreglo de la estructura. Cuando el caolín se trata con ácido se liberan preferencialmente los iones Al octaédricos de la estructura arcillosa formando enlaces Al-OH y Si-OH adicionales [17].

En la Tabla 1 se muestran los resultados de las propiedades texturales antes y después del tratamiento termoquímico donde se emplearon el método BET para la determinación del área específica y la técnica BJH en el caso del diámetro de poro. Se aprecian los cambios en las áreas específicas de los materiales modificados con respecto a los de la materia prima (K) y al del caolín tratado térmicamente (KT). Las áreas específicas de los materiales tratados no variaron significativamente entre si pero al compararlas con la de la materia prima (K) se observa un incremento que sobrepasa el valor en 10 veces. El promedio de las áreas específicas de los materiales tratados termoquímicamente es ligeramente inferior al de la alúmina comercial empleada como soporte de catalizadores de isomerización. Por otra parte, según la clasificación de la IUPAC [18], el diámetro de poro de los materiales modificados continuó estando cercano al límite inferior de la región mesoporosa.

Material	Area Específica (m ² /g)	Volumen Total de Poro (cm ³ /g)	Diámetro Promedio de Poro (A)
K	13	0.051	39
KT	17	0.044	24
KTS2M	180	0.139	31
KTC2M	200	0.159	32
KTN2M	191	0.139	29

Tabla 1 Resultados de las propiedades texturales de los materiales

Los patrones de difracción de rayos X del caolín sin tratamiento alguno y del material tratado con H₂SO₄ se muestran en las Figuras 1 y 2.

Como regla, un tratamiento ácido conduce a severas alteraciones en la estructura cristalina de los minerales que se aprecia en la reducción y ensanchamiento de los picos característicos en los patrones de difracción indicando una disminución en la regularidad de la estructura mineral [17]. El difractograma de la Figura 1, corresponde al de la arcilla pura sin tratamiento alguno. El caolín presenta dos perfiles de difracción bien definidos e intensos a los 12.46 y 25.01° en la escala 2θ, lo cual es característico de su estructura tetragonal [15]. Como resultado del ataque ácido se produjo un colapso en la estructura cristalina del caolín generando un material amorfo. Se observa en los materiales acidificados un patrón característico siendo más notable para el soporte KTS2M, el cual presenta perfiles de mayor intensidad (Figura 2).

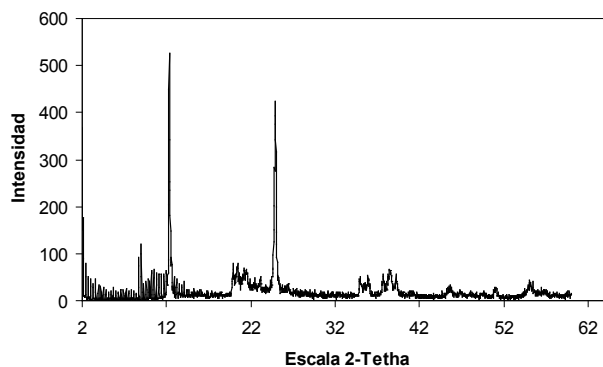


Figura 1 Difractograma de rayos X del material K.

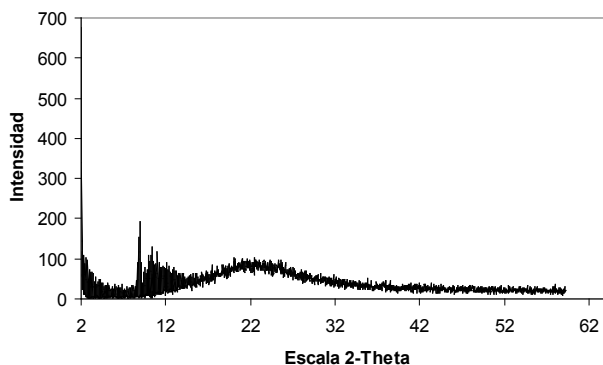


Figura 2 Difractograma de rayos X del material KTS2M.

En la Tabla 2 se presentan los valores de la MFA expresados en mV (milivoltios) de cada uno de los materiales preparados y los meq *n*-BTA/g de catalizador gastados cuando el sistema alcanzó el equilibrio. La máxima fuerza ácida representa el valor en milivoltios de la acidez del material cuando aun no se ha iniciado la titulación con *n*-butilamina. Por otro lado, los miliequivalentes de *n*-butilamina gastados por gramo de catalizador representan el total de miliequivalentes de la amina necesarios para llevar a cabo la neutralización indicando el número total de centros ácidos^[14]. Los resultados en la titulación potenciométrica indican una notable diferencia en la acidez desde una MFA de 17.3 mV para el soporte KT hasta una MFA de 225 mV para el material modificado KTS2M. Se aprecia también la correspondencia con los miliequivalentes de *n*-butilamina gastados desde 0.75 para KT hasta 1.25 en el caso de KTS2M. A partir de éstos se puede señalar que el tratamiento con la solución de H₂SO₄ 2M genera mayor acidez en la arcilla que las otras dos soluciones de HNO₃ y HCl. Entre mas elevado fue el valor de MFA, mayor el consumo en mililitros del agente titulante. El orden de acidez en los soportes fue el siguiente según el tratamiento: H₂SO₄>HCl>HNO₃.

La tabla se complementa con los valores para una circonia sulfatada y una mordenita activada con HNO₃. En ambos casos, los valores alcanzados sobrepasan a los del caolín. La circonia sulfatada como la mordenita activada, soportes muy ácidos, servirán de referencia en la reacción de isomerización de *n*-pentano.

Material	Máxima Fuerza Ácida (mV)	Máxima Fuerza Ácida meq <i>n</i> -BTA/g
KT	17.3	0.75
KTS2M	225	1.25
KTC2M	155.1	1.10
KTN2M	148.2	1.05
ZrO ₂ -SO ₄ ²⁻	403.1	4.40
Mordenita Activada	350.2	3.45

Tabla 2 MFA y meq *n*-BTA/g gastados en la titulación potenciométrica

Al determinarse la acidez superficial total se provee de una información invaluable acerca de la naturaleza de los centros ácidos, su fuerza ácida y distribución en el catalizador. Esta información también proporcionará indicios acerca de las posibles aplicaciones del material y comportamiento catalítico. La prueba de termodesorción con *n*-butilamina aportó información acerca de las propiedades ácidas superficiales.

La Tabla 3 muestra los resultados de la prueba de termodesorción de *n*-butilamina. Los intervalos de temperatura considerados se basaron en el trabajo de Ruiz y col.^[15] habiendo sido para una quimisorción débil de *n*-butilamina entre 110-210°C, una quimisorción media de 210-330°C y una quimisorción fuerte de 330-720°C. El orden de acidez de los materiales fue el siguiente: KTS2M > KTC2M > KTN2M, de donde se observa que se mantiene la misma tendencia mostrada por la titulación potenciométrica con

n-butilamina, lo cual corrobora la generación de acidez en las arcillas tratadas con ácidos inorgánicos. El orden mostrado igualmente se presentó cuando se determinó la acidez de las materiales mediante la técnica de TPD de NH₃^[9]. La proporción de sitios ácidos de KTS2M y KTC2M que intervendrían en la isomerización de *n*-pentano sería alrededor del 50% del total considerando la temperatura de reacción de 250°C. Según la clasificación de los centros ácidos de Ruiz y col.^[15] los centros relevantes para la isomerización del *n*-pentano serían los medios y fuertes.

Material	Acidez Total (mmoln-BTA /g)	Acidez Débil (mmoln-BTA /g) 110-210°C	Acidez Media (mmoln-BTA /g) 210-330°C	AcidezFuerte (mmoln-BTA/g) 330-720°C
KTS2M	0.82	0.31	0.15	0.36
KTC2M	0.80	0.30	0.19	0.31
KTN2M	0.79	0.33	0.15	0.31

Tabla 3 TPD de *n*-butilamina en las muestras analizadas

Isomerización de *n*-Pentano

Un estudio sobre la actividad catalítica con los caolines acidificados fue la deshidratación de 2- propanol el cual aparece en un trabajo anterior^[9]. El orden de actividad catalítica mostrado fue KTS2M > KTC2M > KTN2M con conversiones entre 29-42% y selectividades hacia propileno entre 22-39% y diisopropil éter de 59-85%. Por otra parte, se considera que la reacción de isomerización se llevó a cabo mediante la deshidrogenación del *n*-pentano sobre el Pt seguido de la isomerización de la olefina sobre un centro ácido Brönsted para ser posteriormente hidrogenada sobre un centro metálico^[19,20]. Cabe mencionar que debido a una posible alta concentración de la olefina ésta no se llegó a saturar totalmente conduciendo a reacciones de descomposición y formación de material carbonoso. La mas alta conversión se obtuvo con el material Pt/KTS2M, el cual fue el que mayor acidez arrojó en las pruebas de caracterización mencionadas y que se correlaciona muy bien con la población de centros ácidos medios y fuertes.

La Figura 3 muestra el perfil de actividad catalítica de los materiales, en ella se observan altas conversiones iniciales, 72 y 60%, para Pt/KTS2M y Pt/KTC2M, respectivamente. El catalizador tratado con H₂SO₄ se destacó porque promovió hacia una significativa actividad seguido del tratado con HCl y finalmente aquel con HNO₃, aunque los dos primeros presentaron un decremento en la conversión de aproximadamente un 20% a los 180 minutos de reacción. Los resultados para el caolín puro (KT) se omiten, ya que este material no presentó actividad a las condiciones antes citadas. El catalizador Pt/KTN2M mostró la menor actividad, sin embargo, presentó una mayor resistencia a la desactivación, disminuyendo su conversión alrededor de un 10%.

Durante el transcurso del tiempo de reacción (180 min), no se presentó una desactivación pronunciada de los materiales en general (Fig. 3). El prototipo Pt/KTS2M fue el que mayormente se desactivó; esto quizá debido a que presentó la acidez total mas significativa. Las Figuras 4

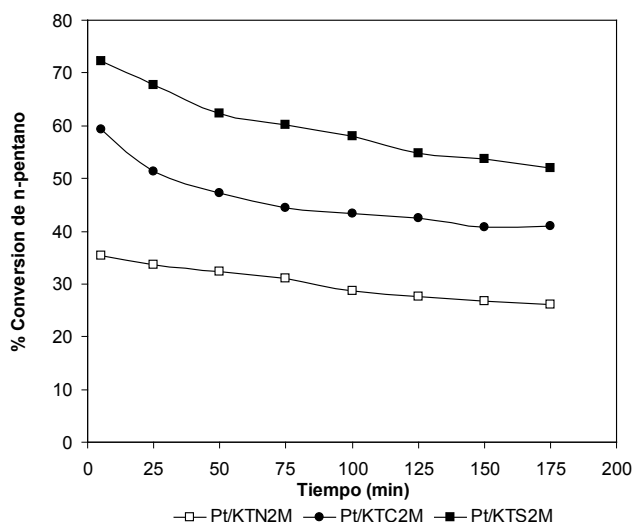
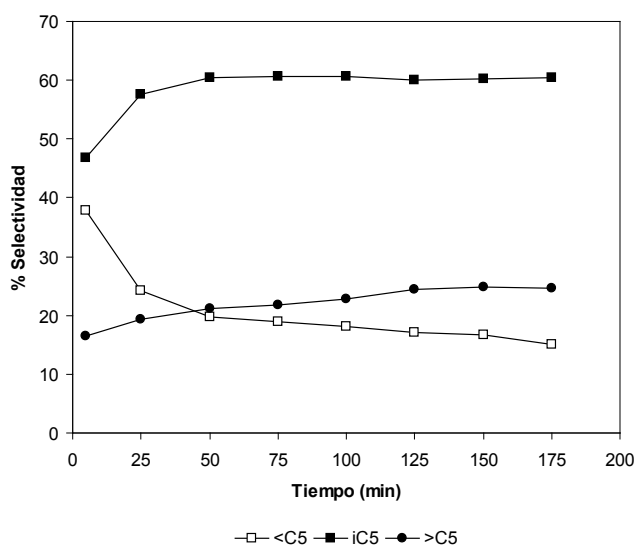


Figura 3 Perfil de actividad catalítica desarrollado por los catalizadores evaluados

a la 6 muestran la variación de la selectividad hacia los productos obtenidos por los prototipos de catalizadores sintetizados.

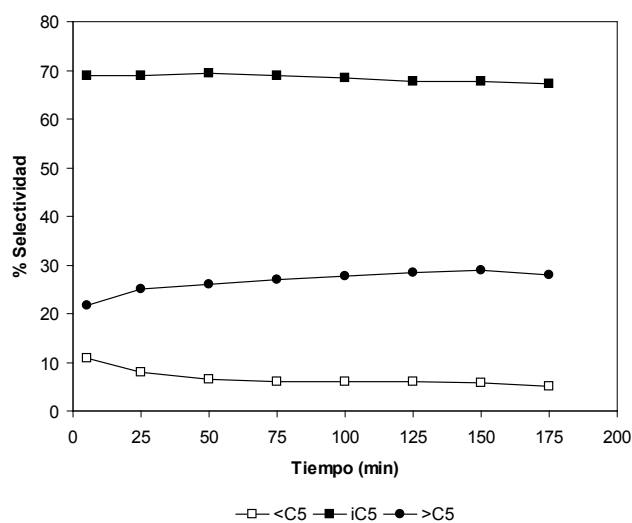


i-C₅ = Porcentaje de isopentano
< C₅ = Porcentaje de compuestos mas ligeros que n-pentano
> C₅ = Porcentaje de compuestos mas pesados que n-pentano

Figura 4 Perfil de selectividad para el Pt/KTS2M.

La acidez mostrada por los materiales es muy importante ya que la selectividad de los mismos hacia el producto de interés se encuentra relacionada con ésta. Tal es el caso del soporte Pt/KTS2M (Fig. 6) el cual mostró la mayor acidez y una selectividad apreciable hacia el isómero (60%) a los 180 minutos. Sin embargo, la producción de moléculas ligeras debido a la desintegración catalítica

de n-pentano tendió a disminuir alcanzando un valor final de 15%, suponiendo esté relacionado al hecho de que la producción de pesados aumentó hasta un valor final de 25%. Probablemente durante la desintegración catalítica se generaron compuestos ligeros muy reactivos que condujeron a la formación de material carbonoso. El catalizador Pt/KTC2M fue el más selectivo hacia el isopentano, manteniéndose casi constante durante el transcurso de la reacción, alcanzando su valor máximo a los 5 minutos de reacción reportando aproximadamente un 68% de selectividad hacia el i-C₅ (Fig. 5). Además, este prototipo produjo la menor cantidad de compuestos desintegrados siendo ligeramente mayor su producción de pesados que el catalizador Pt/KTS2M.



i-C₅ = Porcentaje de isopentano
< C₅ = Porcentaje de compuestos mas ligeros que n-pentano
> C₅ = Porcentaje de compuestos mas pesados que n-pentano

Figura 5 Perfil de selectividad para el Pt/KTC2M

En la Figura 6 se observan los resultados de la reacción de isomerización al emplearse el catalizador de Pt/KTN2M que presentó la menor acidez. Se alcanzó una selectividad final hacia el isómero de un 52% logrando estabilizarse alrededor de los 120 minutos de reacción. Este material también mostró un aumento en la producción de pesados (41% a los 180 minutos) que se debió posiblemente a compuestos intermedios activos. Se aprecia también, un decremento en la selectividad hacia el isopentano con el tiempo de reacción y un aumento en la generación de pesados (>C₅) alcanzando el valor mas elevado de entre los tres prototipos de catalizadores. Por otro lado, la conversión se mantuvo prácticamente constante. En general, los catalizadores mostraron selectividades de alrededor de un 60% hacia el isómero, esto debido al carácter ácido moderado ya discutido en las pruebas de caracterización [9]. En la Tabla 4 se comparan los resultados obtenidos haciendo uso del caolín modificado y otros dos soportes: una mordenita activada con HNO₃ y una circonia sulfatada con concentraciones de Pt semejantes a la de los caolines modificados.

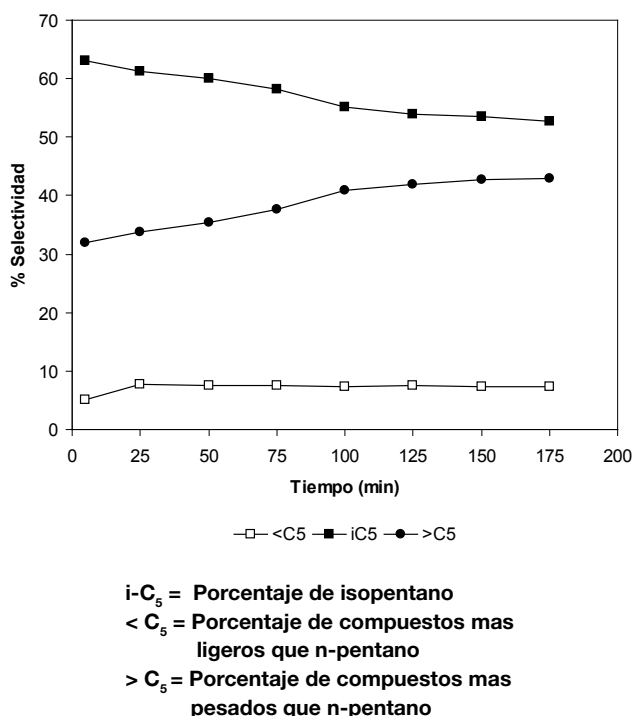


Figura 6 Perfil de selectividad para el Pt/KTN2M

Material	% Conversión	% <C ₅	% i-C ₅	% >C ₅
Pt/Mordenita	61	48	44	8
Pt/ZrO ₂ -SO ₄	14	80	20	0
Pt/KTS2M	52	15	60	25
Pt/KTC2M	41	5	67	28
Pt/KTN2M	26	7	52	41

% <C₅ = Porcentaje de ligeros
 % i-C₅ = Porcentaje de isopentano
 % >C₅ = Porcentaje de pesados

Tabla 4 Resultados de la isomerización de n-pentano con diferentes catalizadores

Los resultados indican un porcentaje de conversión intermedio del caolín modificado entre la mordenita activada y la circonia sulfatada. Son interesantes los valores alcanzados por el isopentano cuando se emplea el caolín, además, si durante el proceso de isomerización se generan compuestos hidrocarbúricos ramificados, éstos constituirían un excelente corte para adicionar a las gasolinas de mezclado mejorando aun mas el octanaje, mismo que se vería fortalecido con la adición del diisopropil éter formado de la deshidratación del 2-propanol [9].

CONCLUSIONES

El caolín modificado representa una opción de estudio como soporte de un prototipo de catalizador en la isomerización de n-pentano. Después del tratamiento termoquímico, las áreas específicas de los caolines aumentaron apreciablemente y el orden de acidez de los materiales

quedó de la siguiente forma: KTS2M>KTC2M>KTN2M. Este mismo orden se presentó en ambas técnicas: titulación potenciométrica con n-butilamina y TPD con n-butilamina. Por otro lado, la cristalinidad se perdió después del tratamiento ácido para todos los casos.

Los porcentajes de isopentano alcanzados por los soportes con base caolín superaron a los de la mordenita y circonia sulfatada. Durante la reacción de isomerización de n-pentano se manifestó que el catalizador Pt/KTS2M produjo la mejor conversión durante el tiempo de reacción, sin embargo tendió a mostrar una disminución en la producción de ligeros y a aumentar la de pesados. En cuanto a la selectividad hacia el isopentano, producto deseado, el catalizador que mejor resultados ofreció fue el Pt/KTC2M además, ésta se mantuvo prácticamente constante durante el transcurso de la reacción. Por otra parte, el material Pt/KTN2M presentó la más baja conversión teniendo una selectividad aceptable hacia el isómero. Con base a la acidez, la mayor selectividad hacia el isopentano se presentó en el nivel medio reportado por la técnica de TPD de n-butilamina con el soporte del prototipo de catalizador KTC2M.

BIBLIOGRAFIA

- V.M. Benítez, C.R. Vera, C.L. Pieck, F.G. Lacamoire, S.C. Yori, J.M. Grau, J.M. Perera: *XIX Simposio Iberoamericano de Catálisis*, (2004) 2186-2192
- T. Demuth, X. Rozanska, L.Benco, J.Hafner: *J. Catal.* 214 (2003) 68-77
- R. García Alamilla, C.E. Ramos Galván, G. Sandoval Robles: *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4 (2005) 255-260
- X.Yang, F.C. Jentoft, R.E. Jentoft: *Catal. Lett.*, 8 (2002) 1-2, 25-31
- T. Suzuki, T. Okuhara: *Catal. Lett.* 72 (2001)1-2, 111-113
- G. Suraj, C.S.P. Iyer, M. Lalithambika, M.: *Applied Clay Science*, 13 (1998) 293-306
- F.G.Colina, S. Espulgas, J.Costa, J.: *British Ceramic Transaction*,: 100 (2001) 203-206.
- G.D. Yadav, J.J. Fair: *Microporous and Mesoporous Materials*, 33 (1999) 1-48
- L.J. Rodríguez Castillo, A. Castillo Mares, R. García Alamilla, R.: *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5 (2006) 3, 329 - 334
- A. Castillo Mares, R. Silva Rodrigo, R.García Alamilla: *Memorias XXI Encuentro Nacional Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química*, (2000) 71-72
- A. Holló, J. Hancsók, D. Kalló: *Appl. Catal. A: General*, 229 (2002) 93-102
- A. Chicaq y A. Corma: *J. Catal.*, 187 (1999) 167-176
- J.F. Allain, P. Magnoux, Ph. Schulz. M. Guisnet: *Appl. Catal. A: General*, 152 (1997) 221-235
- R. Cid, G. Pecchi: *Appl. Catal. A: General*, 14 (1985) 15-21
- J.A. Ruiz, D.M.Melo, J.R. Souza, J.R.: *Materials Research*, 5 (2002) 173-178
- S. Storck, H. Bretinger, W.F. Maier: *Appl. Catal. A.*, 174 (1998)137-146
- G. Jozefaciuk, G. Bowanko, G.: *Clays and Clay Minerals*, 50 (2002) 6, 771-783
- G. Leofanti, M. Padovan. G. Tozzola. B. Venturelli: *Catal. Today*, 41 (1998) 207-219

-
19. B.C. Gates: "Catalytic Chemistry", John Wiley & Sons (1992) 52
 20. S.P. Elangoven, Ch. Bischof, M. Hartmann: *Catal. Lett.*, 80 (2002)1-2, 35-40