

21. Química

Evaluación de catalizadores bifuncionales para apertura de anillo de decalina basados en metales nobles: Ir, Pt y Rh, mono y bimetalicos, soportados en SiO₂-Al₂O₃

Rosas, Santiago M.¹; D'Ippolito, Silvana A.²; Pieck, Carlos L.², Benítez, Viviana M.²

¹ autor; ² orientador

srosas@fiq.unl.edu.ar; sildippo@fiq.unl.edu.ar, pieck@fiq.unl.edu.ar,
vbenitez@fiq.unl.edu.ar;

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE-CONICET)

Facultad de Ingeniería Química – Universidad Nacional del Litoral

Resumen

Se realizó el estudio de catalizadores bifuncionales metal-ácido de Ir, Pt y Rh, mono y bimetalicos, con contenido metálico total 1% en peso, y relación atómica=1 para los bimetalicos (Ir-Pt y Rh-Pt), soportados en un soporte SiO₂-Al₂O₃ comercial (SIRAL 70). Se evaluaron en apertura de decalina a 325°C. Los catalizadores presentaron fuertes interacciones metal-soporte, los bimetalicos también presentan fuertes interacciones entre los metales. Los catalizadores estudiados presentaron valores similares de acidez total y los catalizadores de Rh mostraron menor cantidad de sitios ácidos fuertes que el resto. Los resultados obtenidos de la evaluación de la función metálica mediante hidrogenólisis de ciclopentano y apertura de metilciclopentano manifestaron alta actividad para el iridio y el rodio. En apertura de decalina, los catalizadores evaluados demostraron buena actividad: conversiones superiores al 50%, alto rendimiento a productos de apertura de anillo y bajo rendimiento a productos de craqueo y deshidrogenados; lo que les confiere grandes ventajas comparativas.

Palabras clave: apertura selectiva de anillo, decalina, catalizadores bifuncionales, Pt - Ir - Rh/ SiO₂-Al₂O₃.

Introducción

La apertura selectiva de anillo (SRO) tiene como objetivo principal romper enlaces carbono-carbono endocíclicos de moléculas nafténicas conservando el número total de átomos de carbono. Se utiliza para mejorar fracciones del destilado de pe-

tróleo, como el LCO (*light cycle oil*), ricas en poliaromáticos y así incorporarlas a otras fracciones con mayor valor agregado, como el diésel. Para esto, se utilizan catalizadores bifuncionales metal-ácido debido a que se requieren propiedades ácidas e hidrogenantes (Galadima y

Muraza, 2016). El estudio de la apertura selectiva a escala de laboratorio ha sido realizado con decalina como molécula modelo (Haas, Rabl, Ferrari, Calemma, y Weitkamp, 2012; Kubička et al., 2004). La decalina ($C_{10}H_{12}$, decahidronaftaleno), como se observa en la Figura 1, es un compuesto nafténico que consta de un biciclo saturado, y posee dos isómeros conformacionales: *cis* y *trans*.

El número de cetano (CN) es una medida de la calidad de los combustibles diésel, y se relaciona con su capacidad de autoignición. El CN aumenta significativamente cuando se obtienen parafinas lineales a partir de una molécula como la decalina (Santana et al., 2006). En Argentina, el combustible diésel de grado 3 debe poseer un CN superior a 51, de acuerdo a la legislación vigente (Secretaría de Recursos Hidrocarburíferos, 2016).

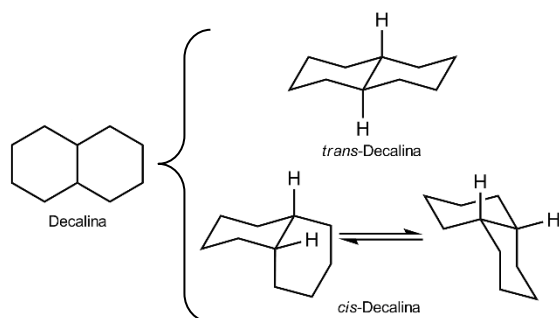


Figura 1. Molécula de decalina y sus isómeros conformacionales.

Se postularon mecanismos de reacción para la apertura de decalina (Haas et al., 2012; Kubička, Salmi, Tiitta, y Murzin, 2009; McVicker et al., 2002; Nassreddine, Massin, Aouine, Geantet, y Piccolo, 2011),

en los cuales se considera que las reacciones que ocurren incluyen isomerización esquelética de la decalina, apertura de los isómeros formados y craqueo de las cadenas alquílicas laterales en estos productos de apertura.

En apertura de decalina se emplearon catalizadores típicos de hidrocrqueo, basados en Ni, W, Mo y Co. Sin embargo, la adición de Ir, Pt, Rh, y Pd a soportes como SiO_2 , Al_2O_3 , y zeolitas demostró que, además de la acidez del soporte, la presencia de metales nobles es necesaria para obtener altas conversiones y selectividades a RO (Moraes et al., 2013). La presencia de sitios ácidos de Brønsted es de particular importancia (Ferraz, Zotin, Araujo, y Zotin, 2010). En cuanto a los soportes, la utilización de zeolitas da como resultado una excesiva actividad de craqueo y deshidrogenación. En cambio, los catalizadores de metales nobles sobre $SiO_2-Al_2O_3$ han demostrado ser superiores en selectividad a productos de apertura de anillo sin presentar las desventajas mencionadas para las zeolitas (Galadima y Muraza, 2016).

Objetivos

En este trabajo se estudian catalizadores bifuncionales de Ir, Pt y Rh, mono y bimetálicos, soportados en $SiO_2-Al_2O_3$. El objetivo es aumentar los productos de apertura de decalina que contribuyan a elevar el CN.

Materiales y Métodos

Preparación de Catalizadores

El soporte utilizado fue SIRAL 70 (SiO_2 - Al_2O_3 , con 69,2% SiO_2 , área superficial=375m² g⁻¹). Los catalizadores se prepararon mediante impregnación húmeda. En primer lugar, el soporte calcinado (flujo de aire, 60cm³min⁻¹, 4h a 450°C), se trató con una solución de HCl 0,2M durante 1h. A continuación, se impregnó con las soluciones acuosas de las sales metálicas correspondientes (H_2PtCl_6 , H_2IrCl_6 , o RhCl_3) de forma tal de obtener 1% en peso de carga metálica en todos los catalizadores, con una relación atómica unitaria para los catalizadores bimetálicos. La impregnación de los precursores metálicos se realizó en agitación por 1h, y luego se obtuvo polvo seco a baño maría. Las muestras se dejaron en estufa a 110°C por una noche. Posteriormente se calcinaron durante 4h a 300°C ($\beta=10^\circ\text{C min}^{-1}$, aire, 60cm³ min⁻¹), finalmente se redujeron en H_2 4h a 500°C ($\beta=10^\circ\text{C min}^{-1}$, 60cm³ min⁻¹). Los catalizadores así obtenidos se denominan: 1Ir, 1Pt, 1Rh, Ir-Pt y Rh-Pt.

Espectroscopia de Emisión Atómica por plasma inductivamente acoplado (ICP/AES)

El contenido de metales (Pt, Ir, Rh) y de cloro en los catalizadores se determinó mediante un equipo ICP-OES-OPTIMA 2100 DV (Perkin Elmer).

Reducción a temperatura programada (TPR)

Se utilizaron 200mg de catalizador. Se realizó un pretratamiento en aire a 350°C. Luego, enfriamiento con corriente de aire hasta llegar a temperatura ambiente, barrido con Ar. La experiencia se realizó con pasaje de H_2/Ar (5% V/V de H_2), con calentamiento hasta 700°C ($\beta=10^\circ\text{C min}^{-1}$), midiéndose el consumo de H_2 en un cromatógrafo de fase gas provisto de un detector TCD.

Desorción a temperatura programada de piridina (TPD)

Se utilizaron 100mg de catalizador. Impregnación de las muestras con exceso de piridina (Py), a temperatura ambiente. Luego, se cargaron en un reactor de cuarzo y, en primer lugar, se eliminó la piridina fisisorbida en flujo de N_2 (30ml min⁻¹, 110°C por 1h). Las experiencias se realizaron hasta 650°C ($\beta=10^\circ\text{C min}^{-1}$). La Py desorbida se midió conectando la salida de los gases del reactor a un metanador y un detector FID.

Hidrogenólisis de ciclopentano (HCP) y apertura de metilciclopentano (MCP)

Para cada reacción se tomaron muestras de 80mg de catalizador. Las mismas se redujeron in situ por 1h, a 500°C en flujo de H_2 (36cm³ min⁻¹). Luego, se enfrió hasta la temperatura de reacción. Las reacciones se realizaron a 250°C por 2h en H_2 (36cm³ min⁻¹) a una presión de 0,1MPa.

Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina

17, 18 y 19 de octubre de 2018

Para HCP se utilizó un caudal de ciclopentano (CP) de $0,483\text{cm}^3\text{h}^{-1}$, mientras que el caudal de MCP fue de $0,362\text{cm}^3\text{h}^{-1}$

tenido metálico real y el teórico no supera al 26%.

Los productos de reacción fueron analizados en un cromatógrafo de fase gas Thermo Scientific Trace 1300, con una columna Phenomenex ZB-1, en línea al sistema de reacción.

Tabla 1. Porcentaje metálico y de cloro determinados mediante ICP.

Catalizador	Porcentaje en peso (%)			
	Cl	Ir	Pt	Rh
1Ir	0,99	0,74	-	-
1Pt	0,9	-	0,77	-
1Rh	1,13	-	-	1,00
Ir-Pt	0,96	0,47	0,28	-
Rh-Pt	0,69	-	0,53	0,35

Apertura selectiva de decalina (SRO)

La reacción se realizó en un reactor de acero inoxidable discontinuo, colocando 1g de catalizador y 25cm^3 de decalina (se usó una mezcla de *cis* y *trans*-decalina de relación 1). La temperatura fue de 325°C , con una presión total de 3MPa, agitación de 1360 rpm, por 6h. Las muestras líquidas recuperadas al final de la reacción fueron analizadas mediante cromatógrafo de fase gas Thermo Scientific Trace 1300, con una columna Phenomenex ZB-5. La identificación de los productos se realizó por GC-MS en un espectrómetro de masas Saturno 2000 acoplado a un GC Varian 3800 utilizando la misma columna GC.

La Figura 2 muestra los perfiles de TPR de los catalizadores estudiados. El catalizador 1Ir presenta una amplia zona de reducción, cuyo pico principal se encuentra a 245°C y posee un hombro a 210°C , esto puede atribuirse a diferentes interacciones entre los óxidos IrO_x y el soporte, e indicaría la presencia de partículas de diferente tamaño. El catalizador 1Pt presenta un pico centrado en 120°C , que puede deberse a la reducción de especies PtO_x (Carvalho et al., 2004); y otro más bajo y ancho a temperaturas altas, posiblemente debido a la reducción de especies oxiclорadas de Pt segregadas en fuerte interacción con el soporte. En el caso del 1Rh se obtiene un amplio pico centrado en 120°C , que puede asociarse a la reducción de especies de RhO_x (D'Ippolito, Pirault-Roy, Especel, Epron, y Pieck, 2017).

La ausencia de limitaciones a la transferencia de masa fue verificada mediante el módulo de Weisz-Prater, el cual es menor a 0,1 (D'Ippolito, Ballarini, y Pieck, 2017).

Resultados y Discusión

El contenido metálico y de cloro de los catalizadores se presenta en la Tabla 1. Se observa que la diferencia entre el con-

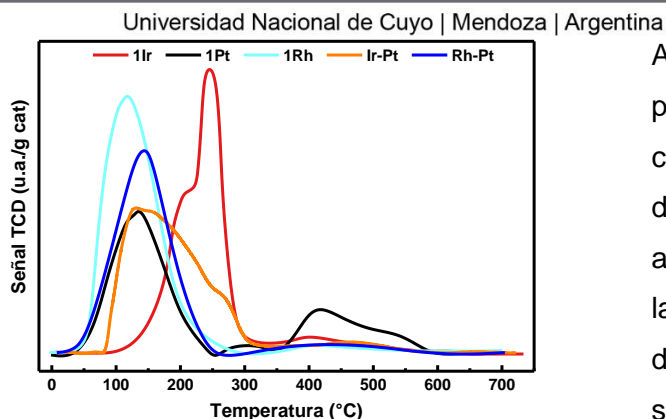


Figura 2. Perfiles de TPR

En el perfil de TPR del catalizador Ir-Pt se observa la gran influencia del agregado de platino, en el descenso de la temperatura del pico de reducción respecto al catalizador 1Ir. El catalizador Ir-Pt muestra un gran pico con centro en 140°C y un hombro a 273°C que puede corresponder a la reducción simultánea de ambos óxidos metálicos. Esto significaría que los metales se encuentran en interacción durante la reducción. El catalizador Rh-Pt muestra un comportamiento similar al Ir-Pt, con un pico ancho centrado en 150°C, aunque sin desplazamiento del máximo de reducción a menores temperaturas. Por lo tanto, en ambos catalizadores bimetálicos se logra una fuerte interacción entre los metales. De acuerdo a lo expuesto anteriormente puede establecerse el siguiente orden de interacción metal-soporte:

$$1Ir > Rh-Pt \approx Ir-Pt > 1Pt \approx 1Rh.$$

17, 18 y 19 de octubre de 2018

A partir de la desorción de piridina a temperatura programada se obtiene información sobre la acidez total de los catalizadores considerando el área bajo la curva, así también como sobre la distribución de la fuerza ácida, dada por las temperaturas de desorción. En los soportes SIRAL, se sabe que la piridina se adsorbe tanto en sitios ácidos Lewis como Brønsted (D'Ippolito, Especel, Epron, y Pieck, 2015), sin embargo, con esta técnica no es posible discernir entre estos dos tipos de sitios ácidos.

La Figura 3 muestra los perfiles de desorción de piridina. Todos los catalizadores presentan amplias zonas de desorción. En términos generales todos los catalizadores presentan dos importantes zonas de desorción, uno a bajas temperaturas entre 250 y 300°C y otro a altas temperaturas en el rango 410 - 520°C. Las mayores temperaturas de desorción se presentan en los catalizadores 1Ir y 1Pt con picos a 490 y 520°C respectivamente, mientras que el catalizador 1Rh posee un gran pico a 435°C extendido en las regiones de temperaturas medias y un hombro a temperaturas más bajas. También los catalizadores 1Ir y 1Pt exhiben amplios picos en torno a 252 y 260°C respectivamente. Por otra parte, el catalizador 1Rh presenta un importante hombro a 300°C. Los catalizadores bimetálicos muestran perfiles intermedios a los correspondientes mono-metálicos.

Los sitios ácidos se clasificaron en: sitios ácidos débiles ($T < 300^\circ\text{C}$), medios ($300 < T < 500^\circ\text{C}$) y fuertes ($T > 500^\circ\text{C}$). Se calcularon los micromoles de piridina desorbida en cada región a fin de cuantificar de la fuerza ácida. Estos resultados, junto a la acidez total de los catalizadores, se observan en la Tabla 2. La acidez total de los catalizadores presenta el siguiente orden:

$$1\text{Pt} \approx 1\text{Rh} > \text{Ir-Pt} > 1\text{Ir} > \text{Rh-Pt}$$

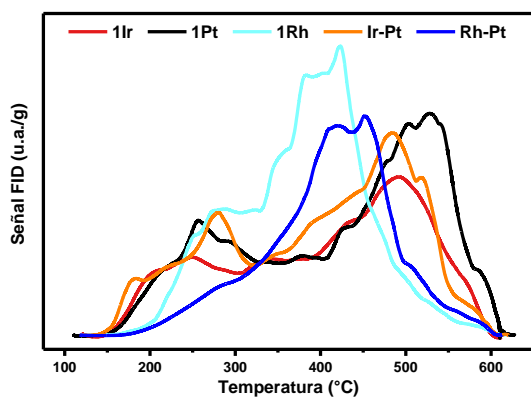


Figura 3. Perfiles de TPD de piridina

Puede observarse que en todos los catalizadores predominan los sitios ácidos medios. Los catalizadores 1Rh y Rh-Pt que presentan menor concentración de sitios fuertes. Contrariamente a lo que ocurre con el catalizador 1Pt que posee la mayor proporción de sitios ácidos fuertes.

La hidrogenólisis de ciclopentano (HCP) y la reacción de apertura de metilciclopentano (MCP) son útiles para evaluar las propiedades de la superficie del catalizador. Se sabe que la HCP requiere grandes

ensambles de partículas metálicas (Roberti, Ponec, y Sachtler, 1973). Consecuentemente, una baja conversión puede correlacionarse con una alta dispersión metálica (Roberti et al., 1973). Por otra parte, el mecanismo de apertura de MCP permite inferir el tamaño de las partículas metálicas. El mecanismo selectivo produce principalmente 2-metil pentano (2MP) y 3-metil pentano (3MP) y se atribuye a partículas metálicas grandes, mientras que el mecanismo no selectivo conduce a una mezcla de 2MP, 3MP y n-C₆ y se asocia a gran dispersión de partículas (Roberti et al., 1973).

Los resultados presentados en la Tabla 3 evidencian la alta actividad hidrogenolítica de los catalizadores 1Ir y 1Rh, mientras que el catalizador 1Pt es notablemente menos activo en hidrogenólisis en concordancia con resultados reportados (Benitez et al., 2007). En cuanto a los catalizadores bimetalicos, la adición de platino disminuye la actividad hidrogenolítica.

Tabla 2. Distribución de sitios ácidos calculada a partir de los TPD Py.

Catalizador	Sitios Ácidos ($\mu\text{mol}(\text{Py}) \text{g}^{-1}$)			
	Débiles	Medios	Fuertes	Totales
1Ir	268,9	654,9	276,0	1199,8
1Pt	321,0	685,6	502,3	1508,9
1Rh	279,1	1151,0	75,6	1505,7
Ir-Pt	353,0	801,0	258,9	1412,8
Rh-Pt	105,8	915,2	107,7	1128,7

Los resultados para la reacción de MCP mostrados en la Tabla 3 indican que el

catalizador 1Rh presenta la mayor conversión. Esta reacción requiere de la presencia de sitios ácidos y metálicos cercanos, por lo que los resultados se corresponden con los obtenidos por TPD (Tabla 2) y con el contenido de cloro determinado por ICP (Tabla 1). Los catalizadores bimetálicos presentan una conversión intermedia entre las obtenidas para los monometálicos correspondientes.

Tabla 3. Conversión en las reacciones de MCP, HCP, y SRO de decalina.

Catalizador	Conversión (%)	
	HCP	MCP
1Ir	92,5	58,6
1Pt	6,2	2,5
1Rh	85,6	64,2
Ir-Pt	59,7	20,4
Rh-Pt	6,1	21,7

La distribución de productos de apertura de MCP que se presenta en la Tabla 4 permite concluir que predomina un mecanismo parcialmente selectivo (Galperin, Bricker, y Holmgren, 2003) para todos los catalizadores estudiados excepto para el 1Pt. Este catalizador muestra una alta selectividad a productos deshidrogenados. La actividad del platino se ve incrementada notablemente por la adición de Rh e Ir (Samoila, Boutzeloit, Especel, Epron, y Marécot, 2009).

Tabla 4. Rendimientos y selectividad a RO para MCP a 10 min de reacción.

Catalizador	Rendimiento (%)		
	2MP	3MP	n-C ₆
1Ir	22,2	18,1	11,4
1Pt	0,3	0,0	1,2
1Rh	25,7	23,0	14,6
Ir-Pt	11,9	5,2	2,0
Rh-Pt	13,6	5,7	2,3

Los productos de la reacción de decalina son numerosos, y por esto son agrupados de acuerdo al criterio utilizado en un trabajo previo (D'Ippolito, Ballarini, et al., 2017). Los grupos son cuatro y se listan a continuación:

- *Productos de craqueo (PC)*, entre los cuales: 2-metil butano, hexano, 2,3-dimetilpentano, 3-metilpentano, metil ciclopentano (abundante), propil ciclopentano, 2-metilpropil ciclopentano, 1,1-dimetil ciclopentano, ciclohexano, metil ciclohexano, propil ciclohexano, cis 1-etil-2-metil ciclohexano, trans 1-etil-4-metil ciclohexano, 1-etil-3-metil ciclohexano, 1,1,4-trimetil ciclohexano.

- *Contracción de anillo (RC)*, entre los cuales: alquilbicioheptanos (2,2,3-trimetilbicyclo[2.2.1]heptano, 2,6,6-trimetil bicyclo[3.1.1]heptano, 3,7,7-trimetil bicyclo[4.1.0]heptano), 1,1-biciclopentil y espiro[4.5]decano.

- *Apertura de anillo (RO, C₁₀)*, incluyendo: alquilciclohexanos, alquilciclopentanos, ciclohexenos o bencenos y deca-

Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina
nos de cadena abierta (etiloctanos y metilnonanos).

- *Deshidrogenados (PD)*: naftalenos, 1-metilindano y otros productos de deshidrogenación pesados.

Como se observa en la **Error! Not a valid bookmark self-reference.**, todos los catalizadores evaluados presentan conversiones superiores al 50%. En cuanto a la relación entre los isómeros de decalina, en todos los catalizadores se evidencia un consumo preferencial del isómero *cis*. Éste es más reactivo que el *trans* debido a que tiene un sustituyente axial en cada anillo. Hay que considerar que también ocurre isomerización conformacional de la decalina, por lo que parte del isómero *trans* consumido primero se convierte a *cis*. La *cis*-decalina reacciona más fácilmente a productos de RO, mientras que la *trans*-decalina tiende a producir PC (Santikunaporn et al., 2004). En todos los catalizadores la relación *trans/cis* es mayor al valor unitario de la decalina usada como reactivo.

La Figura 4 presenta los rendimientos luego de 6 h de reacción de decalina clasificados en los grupos de productos mencionados anteriormente. En todos los catalizadores predomina el rendimiento a RO con valores superiores al 32% que alcanza su máximo de 40% para el catalizador Rh-PtTabla 3. Los PD son indeseables dado que son precursores de coque, por lo que producen desactivación. Una

17, 18 y 19 de octubre de 2018
ventaja significativa es que la serie de catalizadores posee bajos rendimientos a estos productos. También un aspecto favorable de los catalizadores evaluados en apertura de decalina es la baja producción de productos de craqueo consistentemente con los resultados de hidrogenólisis de ciclopentano y TPD de piridina.

Tabla 5. Conversión y decalina de SRO de decalina luego de 6h de reacción

Catalizador	Conversión (%)	Decalina (%)	
		<i>trans</i>	<i>cis</i>
1Ir	52,2	40,0	7,8
1Pt	57,9	36,8	5,2
1Rh	53,4	32,7	13,8
Ir-Pt	52,3	36,2	11,4
Rh-Pt	58,8	36,6	4,6

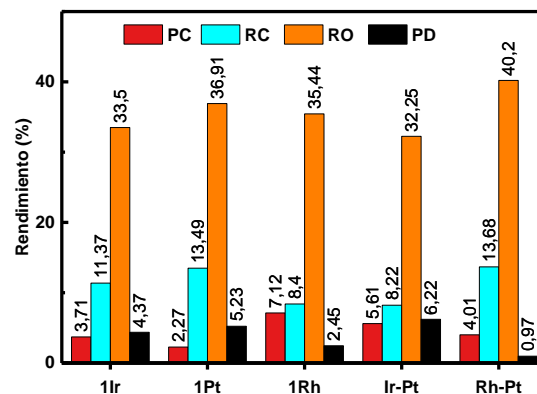


Figura 4. Rendimientos a grupos de productos en la reacción de SRO de decalina a 325°C.

Conclusiones

Se estudió la influencia de tres metales nobles: Ir, Pt y Rh, sobre un soporte comercial SIRAL 70 ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, con 69,2% SiO_2) mediante la preparación de catalizadores monometálicos y bimetálicos, Ir-Pt y

Rh-Pt, con 1% en peso de contenido metálico en apertura de anillo de decalina a 325°C.

Se caracterizó mediante TPR, y se observó gran interacción entre los metales y el soporte, así como interacción entre el Ir y el Rh con el Pt en los catalizadores bimetálicos. La acidez total determinada para todos los catalizadores fue del mismo orden, predominando los sitios ácidos medios, pero se encontraron diferencias en la distribución de sitios ácidos fuertes: los catalizadores que contienen Rh presentaron baja cantidad de éstos. En la reacción de HCP, el carácter hidrogenolítico del Ir y el Rh se hizo evidente, dado las altas conversiones alcanzadas. Los catalizadores estudiados en apertura de decalina a 325°C, presentaron principalmente rendimiento a productos de apertura de anillo, siendo el catalizador Rh-Pt el que presentó el mejor desempeño, alcanzando 58.8% de rendimiento. El catalizador de Ir-Pt presentó un comportamiento intermedio entre los monometálicos de Ir y Pt.

Bibliografía

Benitez, V. M., Boutzeloit, M., Mazzieri, V.

A., Especel, C., Epron, F., Vera, C. R., ... Pieck, C. L. (2007).

Preparation of trimetallic Pt-Re-Ge/Al₂O₃ and Pt-Ir-Ge/Al₂O₃ naphtha reforming catalysts by surface redox reaction. *Applied Catalysis A: General*, 319, 210–217.

<https://doi.org/10.1016/J.APCATA.20>

06.12.006

Carvalho, L. S., Pieck, C. L., Rangel, M.

C., Fígoli, N. S., Vera, C. R., y

Parera, J. M. (2004). Trimetallic

naphtha reforming catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 269(1–2), 105–116.

<https://doi.org/10.1016/j.apcata.2004.04.006>

D'Ippolito, S. A., Ballarini, A. D., y Pieck,

C. L. (2017). Influence of Support

Acidity and Ir Content on the Selective Ring Opening of Decalin over Ir/SiO₂-Al₂O₃. *Energy y Fuels*, 31(5), 5461–5471.

<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b00451>

D'Ippolito, S. A., Especel, C., Epron, F., y

Pieck, C. L. (2015). Selective ring

opening of methylcyclohexane and decalin over Rh-Pd supported catalysts: Effect of the preparation method. *Fuel Processing Technology*, 140, 180–187.

<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.08.027>

D'Ippolito, S. A., Pirault-Roy, L., Especel,

C., Epron, F., y Pieck, C. L. (2017).

Influence of rhodium content on the behavior of Rh/SiO₂-Al₂O₃ catalysts for selective ring opening of decalin. *RSC Advances*, 7(74), 46803–46811.

<https://doi.org/10.1039/c7ra08350e>

Ferraz, S. G. A., Zotin, F. M. Z., Araujo, L.

R. R., y Zotin, J. L. (2010). Influence

of support acidity of NiMoS catalysts

- Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina
17, 18 y 19 de octubre de 2018
- in the activity for hydrogenation and hydrocracking of tetralin. *Applied Catalysis A: General*, 384(1–2), 51–57.
<https://doi.org/10.1016/j.apcata.2010.06.003>
- Galadima, A., y Muraza, O. (2016). Ring opening of hydrocarbons for diesel and aromatics production: Design of heterogeneous catalytic systems. *Fuel*, 181, 618–629.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.05.024>
- Galperin, L. B., Bricker, J. C., y Holmgren, J. R. (2003). Effect of support acid-basic properties on activity and selectivity of Pt catalysts in reaction of methylcyclopentane ring opening. *Applied Catalysis A: General*, 239(1–2), 297–304.
[https://doi.org/10.1016/S0926-860X\(02\)00416-7](https://doi.org/10.1016/S0926-860X(02)00416-7)
- Haas, A., Rabl, S., Ferrari, M., Calemma, V., y Weitkamp, J. (2012). Ring opening of decalin via hydrogenolysis on Ir/- and Pt/silica catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 425–426, 97–109.
<https://doi.org/10.1016/j.apcata.2012.03.010>
- Kubička, D., Kumar, N., Mäki-Arvela, P., Tiitta, M., Niemi, V., Salmi, T., ... Murzin, D. Y. D. Y. (2004). Ring opening of decalin over zeolites I. Activity and selectivity of proton-form zeolites. *Journal of Catalysis*, 222(1), 65–79.
<https://doi.org/10.1016/j.jcat.2003.10.027>
- Kubička, D., Salmi, T., Tiitta, M., y Murzin, D. Y. (2009). Ring-opening of decalin - Kinetic modelling. *Fuel*, 88(2), 366–373.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.09.004>
- McVicker, G., Daage, M., Touvelle, M. S., Hudson, C. W., Klein, D. P., Baird, W. C., ... Feeley, O. C. (2002). Selective Ring Opening of Naphthenic Molecules. *Journal of Catalysis*, 210(1), 137–148.
<https://doi.org/10.1006/jcat.2002.3685>
- Moraes, R., Thomas, K., Thomas, S., Van Donk, S., Grasso, G., Gilson, J.-P., y Houalla, M. (2013). Ring opening of decalin and methylcyclohexane over alumina-based monofunctional WO₃/Al₂O₃ and Ir/Al₂O₃ catalysts. *Journal of Catalysis*, 286, 62–77.
<https://doi.org/10.1016/j.jcat.2011.10.014>
- Nassreddine, S., Massin, L., Aouine, M., Geantet, C., y Piccolo, L. (2011). Thiotolerant Ir/SiO₂-Al₂O₃ bifunctional catalysts: Effect of metal-acid site balance on tetralin hydroconversion. *Journal of Catalysis*, 278(2), 253–265.
<https://doi.org/10.1016/j.jcat.2010.12.008>
- Roberti, A., Ponec, V., y Sachtler, W. M. H. (1973). Reactions of

Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina

17, 18 y 19 de octubre de 2018

methylcyclopentane on nickel and

264999/262.019/norma.htm

nickel-copper alloys. *Journal of*

Catalysis, 28(3), 381–390.

[https://doi.org/10.1016/0021-](https://doi.org/10.1016/0021-9517(73)90131-0)

[9517\(73\)90131-0](https://doi.org/10.1016/0021-9517(73)90131-0)

Samoila, P., Boutzeloit, M., Especel, C.,

Epron, F., y Marécot, P. (2009).

Selective ring-opening of

methylcyclopentane on platinum-

based bimetallic catalysts. *Applied*

Catalysis A: General, 369(1–2), 104–

112.

[https://doi.org/10.1016/j.apcata.2009.](https://doi.org/10.1016/j.apcata.2009.09.006)

[09.006](https://doi.org/10.1016/j.apcata.2009.09.006)

Santana, R. C., Do, P. T., Santikunaporn,

M., Alvarez, W. E., Taylor, J. D.,

Sughrue, E. L., y Resasco, D. E.

(2006). Evaluation of different

reaction strategies for the

improvement of cetane number in

diesel fuels. *Fuel*, 85(5–6), 643–656.

[https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.08.](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.08.028)

[028](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.08.028)

Santikunaporn, M., Herrera, J. E.,

Jongpatiwut, S., Resasco, D. E.,

Alvarez, W. E., y Sughrue, E. L.

(2004). Ring opening of decalin and

tetralin on HY and Pt/HY zeolite

catalysts. *Journal of Catalysis*,

228(1), 100–113.

[https://doi.org/10.1016/j.jcat.2004.08.](https://doi.org/10.1016/j.jcat.2004.08.030)

[030](https://doi.org/10.1016/j.jcat.2004.08.030)

Secretaría de Recursos Hidrocarburíferos.

Resolución 5-2016 (2016). Retrieved

from [\[!\\[\\]\\(a3a7cedfdf1046b3481312a851ed6b42_img.jpg\\)\]\(http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/260000-</p></div><div data-bbox=\)](http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/260000-</p></div><div data-bbox=)

