

# Influencia de la temperatura y el tiempo de reacción en la hidroisomerización de diésel renovable

## Influence of temperature and time of reaction on the hydroisomerization of renewable diesel

## Influência da temperatura e tempo de reação na hidroisomerização de diesel renovável.

Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo: Olarte Suárez, G., Giraldo Duarte, S. y Garzón, L. L. (2015). Influencia de la temperatura y el tiempo de reacción en la hidroisomerización de diésel renovable. *Ingenio Magno*, 6(2), 114-123.

### **Giovanny Olarte-Suárez**

Facultad de Ingenierías Físico-Químicas,  
Centro de Investigaciones en Catálisis,  
Universidad Industrial de Santander  
[giovanny.olarte@correo.uis.edu.co](mailto:giovanny.olarte@correo.uis.edu.co)

### **Sonia Giraldo-Duarte**

Facultad de Ingenierías Físico-Químicas,  
Centro de Investigaciones en Catálisis,  
Universidad Industrial de Santander  
[sonia.giraldo@uis.edu.co](mailto:sonia.giraldo@uis.edu.co)

### **Laura Liliana-Garzón**

CEQ-Instituto Colombiano del Petróleo, Ecopetrol S.A.  
[laura.garzon@ecopetrol.com.co](mailto:laura.garzon@ecopetrol.com.co)

Fecha de recepción: 19 de Octubre de 2015

Fecha de Aprobación: 18 de Diciembre de 2015

## Resumen

La producción de biocombustibles a partir de aceites vegetales o grasas animales ha tomado un gran auge en las últimas dos décadas. La obtención de biocombustibles con propiedades semejantes a los combustibles de fuentes fósiles es un reto, debido a las exigencias técnicas en calidad, sobre todo en las propiedades de fluidez en frío. La hidroisomerización de los compuestos *n*-parafínicos es la ruta más viable para cumplir con este objetivo. En este estudio se utilizó una carga real de diésel renovable obtenido por coprocesamiento de una corriente fósil (DMO) con aceites vegetales. Las pruebas catalíticas se realizaron en un autoclave con agitación, empleando un catalizador comercial de hidrocrackeo. La reacción fue evaluada a 5,5 MPa, en un rango de temperatura desde 320 °C hasta 350 °C, y un rango de reacción entre 2 y 5 h. Los resultados muestran la obtención de un producto con un punto de fluidez mejorado hasta 0 °C. Además, los rendimientos de ambos cortes (bionafta y biojet) se incrementan para las condiciones de operación establecidas (2 h de reacción, 320 °C, 5,5 MPa). También se observa una reducción apreciable en el rendimiento líquido de los productos para tiempos de reacción mayores a 2 h y temperaturas superiores a 320 °C.

**Palabras clave:** biocombustibles, biojet, diésel renovable, hidroisomerización.

## Abstract

The production of biofuels from vegetable oils and/or animal fats has experienced great growth in the last two decades. The procurement of biofuels with properties similar to fossil fuels, is a challenge due to the technical requirements in quality especially in the properties of fluidity in the cold. The hydroisomerization of *n*-paraffinic compounds is the most viable way to meet this objective. In this study a real load of renewable diesel obtained via the coprocessing of an ordinary fossil (DMO) with vegetable oils was used. The catalytic tests were carried out in an autoclave with mixing, using a commercial hydrocracking catalyst. The reaction was evaluated at 5.5 MPa, at a temperature range from 320°C to 350°C, and a time range from 2 to 5 h. The results show the procurement of a product with an improved fluidity point until 0°C, this being the best result. Furthermore the performance of both cuts bionafta and biojet increase in the established operating conditions (2 h of reaction, 320°C, 5,5 MPa), an appreciable reduction in liquid performance of products for reaction times greater than 2 h and temperatures above 320°C was also observed.

**Keywords:** biofuels, biojet, renewable diesel, hydroisomerization.

## Resumo

A produção de biocombustíveis a partir de óleos vegetais e/ou gorduras animais tem tido um grande florescimento nas últimas duas décadas. A produção de biocombustíveis com propriedades semelhantes às fontes de combustíveis fósseis é um desafio devido às exigências técnicas sobre qualidade, especialmente em propriedades de fluidez a frio. A hidroisomerização de compostos *n*-parafínico é a forma mais viável para atingir este objetivo.

Neste estudo, utilizou-se uma carga real para diesel renovável obtido por co-processamento de uma corrente fósil (DMO) com óleos vegetais utilizados foi utilizado neste estudo. Os testes catalíticos foram realizados em um autoclave de agitação, usando um catalisador de hidrocrackeamento comercial. A reação foi avaliada a 5,5 MPa,

num intervalo de temperatura de 320 ° C a 350 ° C , e de tempo de reacção entre 2 e 5 h. Os resultados mostram a obtenção de um produto com um ponto de fluidez melhorado até 0°C, sendo este o melhor resultado. Além disso os rendimentos de ambos os cortes bionafta e biojet incrementam as condições de operação estabelecida (2h de reacção, 320°C, 5,5 MPa), uma redução significativa é também observada no desempenho do produto líquido para tempos de reacção mais longos que 2 horas e temperaturas acima de 320 ° C.

**Palavras Chave:** biocombustíveis, biojet, diesel renovável, hidroisomerização.

## 1. Introducción

La hidroisomerización es empleada principalmente para la producción de combustibles con propiedades en frío mejoradas, tales como viscosidad, punto de fluidez y punto de congelación (Deldari, 2005). Muchas variables tienen un rol importante en este proceso, incluyendo las condiciones operacionales como la temperatura de reacción, el tiempo de contacto, la presión y la presión parcial del hidrógeno (Rezgui y Guemini, 2008), al igual que las propiedades del catalizador como la dispersión de las fases metálicas y la fuerza y densidad de los sitios ácidos (Guisnet *et al.*, 1987; Pérez *et al.*, 2009; Rezgui y Guemini, 2005).

La isomerización requiere catalizadores bifuncionales, esto es, que contienen sitios metálicos para la hidrogenación/deshidrogenación de alcanos y sitios ácidos para la reacomodación esquelética de la molécula vía iones carbenio, respectivamente. Durante este proceso es importante minimizar las reacciones secundarias (hidrocraqueo) y asegurar una velocidad de reacción satisfactoria. Para alcanzar esto, es necesario tener una relación metal-sitios ácidos definida en el catalizador (Tian y Chen, 2014).

Es evidente que las *n*-parafinas de cadenas largas son más fáciles de convertir a isoalcanos o alcanos craqueados, en comparación con las *n*-parafinas de cadenas cortas. Infortunadamente, los alcanos multiramificados son más susceptibles al hidrocraqueo vía beta incisión. Si el tamaño

de poro es lo suficientemente pequeño para restringir la entrada de los alcanos ramificados hacia los sitios ácidos internos del soporte, la selectividad hacia la isomerización puede aumentar considerablemente (Chen *et al.*, 2015; López *et al.*, 2010).

Aunque la selectividad hacia la hidroisomerización y la extensión de la ramificación (mono- di- y triparafinas) son controladas por las dimensiones y topología de los poros, en principio la actividad de isomerización esquelética del catalizador está relacionada con el número total y la fuerza de sitios ácidos.

El objetivo de esta investigación es evaluar un catalizador comercial en la hidroisomerización de diésel renovable, además de analizar la influencia de la variación de la temperatura y el tiempo de reacción, sobre el rendimiento y la distribución de los productos líquidos, en reacciones de hidroisomerización.

## 2. Desarrollo experimental

### A. Reactivos y cargas

Para estas pruebas se utilizó un catalizador comercial de hidrocraqueo Ni-W, sobre un soporte zeolítico. Fue escogido entre cuatro posibles catalizadores empleados industrialmente en hidrocraqueo, presentados en la tabla 1, donde se muestra su fuerza ácida. La distribución de sitios ácidos fue obtenida por análisis de desorción de NH<sub>3</sub> a temperatura programada (TPD).

Los valores reportados en la tabla 1 muestran que para el catalizador NiW, el porcentaje de fuerza ácida es muy similar para los tres niveles definidos: débil (< 200 °C), media (200-350 °C) y alta (> 350 °C). Ello podría ayudar en la selectividad de la reacción de hidroisomerización, hacia la obtención de isoparafinas en el rango de corte jet y, en menor cuantía, en corte nafta y livianos no condensables (Krár *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2015); por ello, este catalizador comercial fue escogido para la realización de este estudio.

**Tabla 1. Distribución de fuerza ácida en catalizadores comerciales**

Catalizador	% de fuerza ácida		
	Débil	Media	Fuerte
HCK-1	13,41	32,79	53,80
HCK-2	19,79	34,51	45,70
HCK-3	12,76	40,56	46,68
NiW	33,46	33,77	32,77

Para las evaluaciones de reactividad se empleó una carga de diésel renovable obtenido por coprocesamiento, con una corriente fósil de refinería (Núñez, Maecha y Delgado, 2011). En la tabla 2 se presenta la caracterización de la carga empleada. Para la etapa de activación del catalizador se empleó dimetildisulfuro (DMDS, Merck, > 99%).

**Tabla 2. Caracterización del diésel renovable**

Característica	Diésel renovable	Norma
DENSIDAD (G/ML)	0,867	0,86-0,9
ÍNDICE DE CETANO D4737 (CETANOS)	74,7	MIN. 45
PUNTO DE FLUIDEZ D5949 (°C)	16	3
CONTENIDO DE AZUFRE (PPM)	5,4	50
NITRÓGENO TOTAL (PPM)	0,9	-

Fuente: Autor a partir de (Ministerio de Ambiente y Ministerio de Minas, 2007).

Como se observa en la tabla 2, la propiedad crítica que se debe mejorar en el diésel renovable es el punto de fluidez, para cumplir con las exigencias técnicas nacionales requeridas en los combustibles (Ministerio de Ambiente y Ministerio de Minas, 2007).

## B. Diseño experimental

En la tabla 3 se presentan las condiciones de reacción utilizadas para la hidroisomerización de diésel renovable en un reactor tipo *batch* en acero inoxidable 316 (volumen 500 ml) con agitación, el cual dispone de un horno de resistencias con control para el sistema de calentamiento. El set 1 comprende tres pruebas a 350 °C y diferentes tiempos de reacción; el set 2 consta de cuatro pruebas con diferentes temperaturas de reacción y tiempo de 2 h.

La presión de todas las reacciones fue de 5,5 MPa. También se mantuvo un exceso de hidrógeno, cuatro veces del requerido estequiométricamente en la reacción

de hidroisomerización, para mejorar la selectividad hacia los isómeros de los alcanos (Casas y Olarte, 2013; Chao *et al.*, 2000; Geng *et al.*, 2004).

### C. Prueba catalítica

5 ml de catalizador comercial se secaron *in situ* con un flujo de  $N_2$  (100 ml/min), a una temperatura de 120°C durante una hora. Para la etapa de activación se inyectan 100 ml de DMDS al autoclave y se inicia la agitación. Para garantizar el contacto entre la carga sulfurizante y el catalizador, se aumenta la temperatura hasta 350 °C, 2 °C/min.

Estas condiciones se mantuvieron por 3 h a una presión de 0,69 MPa, en atmósfera de  $H_2$ . Después se realizaron purgas con  $H_2$  para desplazar el vapor de DMDS restante

y los gases formados durante esta etapa. Luego se lleva a la temperatura de reacción deseada, manteniendo flujo de hidrógeno (50 ml/min) para purgar los gases remanentes.

Una vez alcanzada la temperatura deseada, se inyectan 120 ml de diésel renovable y se presuriza el sistema hasta 5,5 MPa con  $H_2$ , manteniendo la agitación durante el tiempo de reacción indicado. Terminado el tiempo de reacción, se inicia el enfriamiento del sistema hasta 40°C, temperatura a la cual se realiza la despresurización lenta del sistema y se purga todo el reactor con  $N_2$  (100 ml/min) durante 15 min. Después se procede a recoger y pesar el producto obtenido. En la figura 1 se muestra la representación del sistema de reacción empleado.

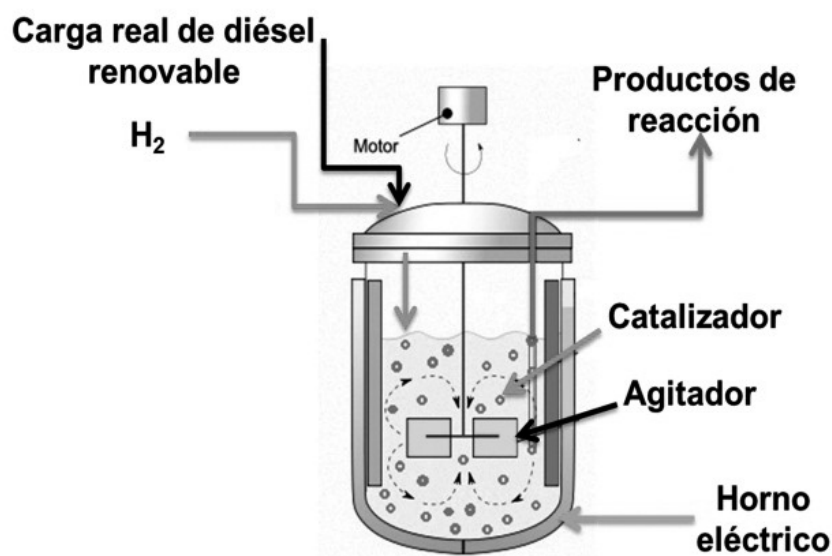


Figura 1. Esquema general del sistema de reacción

### D. Parámetros de evaluación y caracterización

Para los productos líquidos se tuvo en cuenta el análisis de punto de fluidez (ASTM D5949) como una medida cualitativa del avance de la hidroisomerización y las propiedades en frío del producto. Además se evaluó

la distribución de productos (número de carbono) por destilación simulada (ASTM D7213), a fin de cuantificar los rendimientos de cada corte.

Tabla 3. Condiciones de reacción

Condición operativa	Set 1	Set 2
TEMPERATURA (°C)	350	320- 330- 340-350
TIEMPO DE REACCIÓN (h)	2-3-5	2
PRESIÓN (MPa)	5,5	

Los rendimientos líquidos totales de cada prueba se cuantificaron mediante la ecuación [1]:

$$\%Rend = \frac{W_p}{W_c} * 100 \quad [1]$$

Donde %Rend es el porcentaje del rendimiento líquido total,  $W_p$  es el peso del producto obtenido y  $W_c$  es el peso de la carga inyectada al autoclave.

### 3. Resultados y discusión

#### A. Influencia del tiempo de reacción

De acuerdo con las condiciones del set 1 de pruebas (tabla 3), en la figura 2 se presentan los resultados obtenidos en el análisis de distribución de productos líquidos, por cortes de carbono.

Se observa que con tiempos de reacción superiores a 2 h, el rendimiento del producto líquido disminuye severamente, debido al aumento de compuestos livianos por reacciones de hidrocrackeo, lo que conlleva una pérdida de producto en fase gaseosa no condensable. Resultados similares han sido obtenidos anteriormente (Geng *et al.*, 2004): se reporta un incremento del tiempo de contacto del alimento con el catalizador, se aumenta la conversión a compuestos livianos y se disminuye la selectividad esperada hacia isoparafinas. En la tabla 4 se presentan los resultados de los puntos de fluidez para estas pruebas.

Tabla 4. Rendimiento líquido en pruebas a 350 °C y 5,5 Mpa

Tiempo (h)	Punto de fluidez (°C)
0 (CARGA)	16
2	12
3	16
5	18

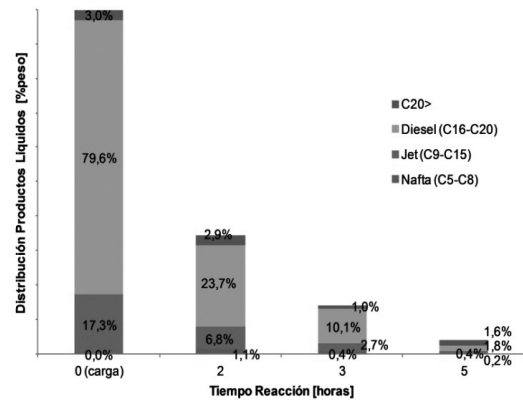


Figura 2. Hidroisomerización de diésel renovable a 350 °C y 5,5 Mpa

De acuerdo con los datos presentados en la figura 2 y en la tabla 4, se observa una pérdida de producto líquido entre 66% y 96%, para tiempos de reacción superiores a 2 h. Además, no se observa una mejora considerable en la propiedad en frío del producto obtenido, la cual es medida por medio del punto de fluidez de la mezcla de hidrocarburos, que disminuye a 12°C para un tiempo de reacción de 2 h.

Se evidencia un leve aumento del punto de fluidez (18°C) para 5 h de reacción. Este resultado puede deberse a que la distribución de productos, expresada por cortes de

carbono en la figura 2, muestra una pérdida considerable en los cortes de jet y diésel, con una baja producción del corte nafta y una leve reducción en el porcentaje del corte de parafinas de cadena larga C20> (ceras). Esto conlleva una mayor concentración de estos compuestos de alto peso molecular en el producto (Liu *et al.*, 2015).

Este resultado sugiere que las posibles parafinas ramificadas producidas por hidroisomerización son igualmente craqueadas hacia alcanos livianos, lo cual lleva a una disminución en el rendimiento líquido y una baja selectividad hacia isómeros. Se obtiene un producto con pobres propiedades en frío (altos valores en puntos de fluidez) (García-Gutiérrez *et al.*, 2012; Thybaut *et al.*, 2005), debido al aumento en la concentración de parafinas con alto peso molecular.

Los productos obtenidos con estas condiciones de operación no cumplen con la distribución de cortes ni con las propiedades en frío necesarias para ser aplicadas directamente o en mezcla como combustible jet o diésel; por tanto, se decide realizar pruebas con tiempo de reacción de 2 h y con temperaturas inferiores a 350°C, para evaluar la viabilidad técnica y económica del proceso, mediante los rendimientos líquidos totales y la distribución por cortes de número de carbono, tomada por la destilación simulada.

### B. Influencia de la temperatura de reacción

En la figura 3 se muestran los cortes según el número de carbono, obtenidos por destilación simulada de los productos de las pruebas según condiciones del set 2 (tabla 3).

En la figura 3 se observa que a una temperatura de reacción de 320 °C, la producción de corte jet y nafta aumentan aproximadamente un 4%, al mismo tiempo que el corte diésel y C20> disminuyen; pero la reducción en la concentración del corte diésel no es tan severa como en los productos obtenidos a temperaturas de reacción

superiores a 320 °C, que tienen un máximo de pérdida para el corte diésel a 350 °C de aproximadamente 55%.

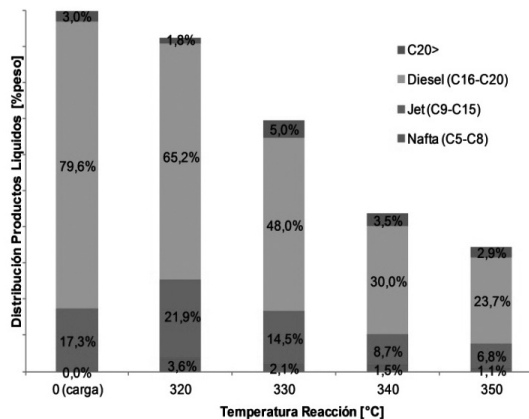


Figura 3. Hidroisomerización de diésel renovable a 5,5 Mpa y 2 horas de reacción

La disminución en el corte C20> a 320 °C es esperada y favorable para la calidad del combustible, ya que le da una mayor estabilidad al producto obtenido, evita con el tiempo la precipitación de estas parafinas (ceras) (Galadima y Muraza, 2015) y mejora el punto de fluidez. Ello se da al aumentar la concentración de los cortes nafta y jet, sin la elevada pérdida en masa por la producción de compuestos livianos no condensables, el cual es asociado al efecto combinado de altas temperaturas y la acidez del catalizador (Verma *et al.*, 2015).

Al disminuir la temperatura desde 350 a 320 °C, es posible maximizar la selectividad del catalizador comercial empleado, hacia la obtención de productos dentro del corte jet y nafta, con bajas pérdidas por livianos no condensables (Blasco *et al.*, 2006).

En la tabla 5 se presentan los resultados del punto de fluidez de los productos obtenidos a las condiciones operacionales descritas en el set 2 de la tabla 3.

**Tabla 5. Punto de fluidez pruebas a 5,5 Mpa y 2 horas de reacción**

Temperatura (°C)	Punto de fluidez (°C)
0 (CARGA)	16
320	0
330	5
340	5
350	12

A partir de los resultados mostrados en la figura 3 y la tabla 5, se observa una mejora en los rendimientos líquidos. Al disminuir la temperatura desde 350 °C hasta 320 °C, el rendimiento líquido del producto aumentó de 34% hasta 92% en peso, al igual que los cortes jet y nafta (alrededor de 4% peso), con un bajo consumo del corte diésel alrededor de 14%, a 320°C, y con menor concentración de corte C20>, cercano a 2%. Esto lleva a obtener un producto con mejores propiedades en frío, debido a la disminución considerable de los compuestos parafínicos de alto peso molecular.

También se observó una disminución apreciable en cuanto al rendimiento del producto líquido y en el corte diésel. Al aumentar la temperatura de 320 °C a 350 °C, la reducción del rendimiento estuvo alrededor del 41% en peso, y en el corte diésel fue del 55% en peso, aproximadamente.

Además se aprecia una mejora en las propiedades en frío del producto obtenido, sobre todo a 320 °C, donde se alcanzó un punto de fluidez de 0 °C. Para las temperaturas de 330 y 340 °C, se observa un punto de fluidez bajo (5 °C), pero aún no cumple con los valores mínimos requeridos por la norma técnica Colombiana (Ministerio de Ambiente y Ministerio de Vivienda, 2007).

Es posible mejorar la calidad del producto al variar las condiciones de operación, en especial temperatura y tiempo de contacto carga-catalizador (Casas y Olarte, 2013; Chao *et al.*, 2000; Galadima y Muraza, 2015), para lograr combustibles renovables con propiedades similares a los obtenidos de fuentes fósiles.

También es aconsejable la búsqueda de un catalizador más selectivo hacia hidroisomerización, lo cual debería minimizar las posibles reacciones de hidrocrqueo, debido a que estas reacciones causan la degradación de las *n*-parafinas a productos más livianos y de menor valor. Con ello se incrementa la volatilidad del producto final y se disminuye el rendimiento global del proceso (Galadima y Muraza, 2015; Rizo-Acosta, Linares-Vallejo y Muñoz-Arroyo, 2014; Verma *et al.*, 2015).

#### 4. Conclusiones

El aumento de la temperatura y el tiempo de reacción durante las pruebas de hidroisomerización demostraron que estos influyen sensiblemente en los rendimientos de los productos líquidos. Así, se obtiene un aumento en los rendimientos de productos livianos no condensables, sin mejoras en la propiedad de fluidez en frío del combustible. Además, al variar las condiciones de operación en las pruebas de hidroisomerización, se altera la distribución de productos de los diferentes cortes (nafta, jet, diésel, C20>) y de los productos no condensables. En consecuencia, se afecta el rendimiento del producto líquido y su punto de fluidez.

Es posible mejorar las propiedades en frío del producto, sin afectar drásticamente el rendimiento líquido, al configurar adecuadamente las condiciones operacionales durante la hidroisomerización del biocombustible. Se logran así los resultados esperados para condiciones operativas de temperatura y tiempo de residencia no tan severas, a 320 °C y 2 h, respectivamente.



De acuerdo con los resultados obtenidos, es probable postular que se puede obtener un producto de origen renovable con propiedades similares a los obtenidos de fuentes fósiles, modulando las condiciones de operación, para obtener mejores rendimientos hacia jet, con baja producción de nafta y pérdidas de producto en fase gaseosa bajas o despreciables. En este trabajo se evaluó un catalizador de hidrocrackeo con una distribución similar de fuerza ácida débil-media-fuerte, con el cual se pudo lograr cierto rendimiento y selectividad hacia jet, con la respectiva mejora de la propiedad en frío del producto.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a M. Castañeda y J. Sarmiento (ICP, Colombia) las ayudas en la caracterización de la carga y los análisis de los productos obtenidos de las pruebas realizadas en este estudio.

### Referencias

- Blasco, T., Chica, A., Corma, A., Murphy, W. J., Agúndez-Rodríguez, J. y Pérez-Pariente, J. (2006). Changing the Si distribution in SAPO-11 by synthesis with surfactants improves the hydroisomerization/dewaxing properties. *Journal of Catalysis*, 242(1), 153-161. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcat.2006.05.027>
- Casas, O. y Olarte, G. (2013). Influencia de la temperatura, presión y LHSV en la obtención de biojet a partir de diésel renovable. *Revista de investigaciones Universidad del Quindío*, 24, 175-177.
- Chao, K.-J., Lin, C.-C., Lin, C.-H., Wu, H.-C., Tseng, C.-W. y Chen, S.-H. (2000). n-Heptane hydroconversion on platinum-loaded mordenite and beta zeolites: the effect of reaction pressure. *Applied Catalysis A: General*, 203(2), 211-220. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0926-860X\(00\)00494-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-860X(00)00494-4)
- Chen, Z., Xu, J., Fan, Y., Shi, G. y Bao, X. (2015). Reaction mechanism and kinetic modeling of hydroisomerization and hydroaromatization of fluid catalytic cracking naphtha. *Fuel Processing Technology*, 130, 117-126. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.09.037>
- Deldari, H. (2005). Suitable catalysts for hydroisomerization of long-chain normal paraffins. *Applied Catalysis A: General*, 293, 1-10. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2005.07.008>
- Galadima, A. y Muraza, O. (2015). Catalytic upgrading of vegetable oils into jet fuels range hydrocarbons using heterogeneous catalysts: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 29, 12-23. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2015.03.030>
- García-Gutiérrez, J. L., Cano, J. L., Alemán-Vázquez, L. O. y Jiménez-Cruz, F. (2012). Study of selectivity of MoO<sub>3</sub>-catalyzed C6–C7 hydrocarbons hydroisomerization: Mechanistic insights into the formation of carbonaceous deposits on the catalyst surface. *Fuel*, 94, 532-543. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.11.032>
- Geng, C.-H., Zhang, F., Gao, Z.-X., Zhao, L.-F. y Zhou, J.-L. (2004). Hydroisomerization of n-tetradecane over Pt/SAPO-11 catalyst. *Catalysis Today*, 93-95, 485-491. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2004.06.104>
- Guisnet, M., Alvarez, F., Giannetto, G. y Perot, G. (1987). Hydroisomerization and hydrocracking of n-heptane on Pth zeolites. Effect of the porosity and of the distribution of metallic and acid sites. *Catalysis Today*, 1(4), 415-433. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0920-5861\(87\)80007-X](http://dx.doi.org/10.1016/0920-5861(87)80007-X)
- Krás, M., Kasza, T., Kovács, S., Kalló, D. y Hancsók, J. (2011). Bio gas oils with improved low temperature properties. *Fuel Processing Technology*, 92(5), 886-892. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.12.007>

- Liu, S., Zhu, Q., Guan, Q., He, L. y Li, W. (2015). Bio-aviation fuel production from hydroprocessing castor oil promoted by the nickel-based bifunctional catalysts. *Bioresource Technology*, 183, 93-100. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.056>
- López, C. M., Sazo, V., Pérez, P., y García, L. V. (2010). n-Pentane hydroisomerization on Pt-promoted acid zeolites. *Applied Catalysis A: General*, 372(1), 108-113. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2009.10.026>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerior de Minas y Energía (2007). *Resolución Conjunta 182087 de 2007, por la cual se modifican los criterios de calidad de los biocombustibles para su uso en motores diésel como componente de la mezcla con el combustible diésel de origen fósil en procesos de combustión*. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=28296#>
- Núñez, I. M. L., Maecha, B. C. A. y Delgado, G. H. (2011). Process for the hydrotreatment of heavy petroleum fractions mixed with vegetable oil: Google Patents.
- Pérez Martínez, David; Lozano, Albany M.; Arias, Carlos J.; Porras, Vladimir C.; Olarte, Giovanni A.; Giraldo, Sonia A.; Centeno, Aristóbulo. (2009). COMPORTAMIENTO DEL CATALIZADOR CoMo/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MODIFICADO CON BORO Y POTASIO EN LAS REACCIONES SIMULTÁNEAS DE HIDROGENACIÓN DE OLEFINAS E HIDRODESULFURACIÓN DE 2-METILTIOFENO. 2009,37(2), 13.
- Rezgui, Y. y Guemini, M. (2005). Effect of acidity and metal content on the activity and product selectivity for n-decane hydroisomerization and hydrocracking over nickel-tungsten supported on silica-alumina catalysts. *Applied Catalysis A: General*, -282(12), 45-53. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2004.11.044>
- Rezgui, Y. y Guemini, M. (2008). Effect of pretreatment conditions on the catalytic performance of Ni-Pt-W supported on amorphous silica-alumina catalysts: Part 1. Catalysts prepared by a sol-gel method. *Applied Catalysis A: General*, 335(1), 103-111. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2007.11.020>
- Rizo-Acosta, P., Linares-Vallejo, M. T. y Muñoz-Arroyo, J. A. (2014). Co-hydroprocessing of a mixture: Vegetable oil/n-hexadecane/4,6-dimethyldibenzothiophene for the production of sustainable hydrocarbons. A kinetic modeling. *Catalysis Today*, 234, 192-199. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2014.03.008>
- Thybaut, J. W., Laxmi Narasimhan, C. S., Denayer, J. F., Baron, G. V., Jacobs, P. A., Martens, J. A. y Marin, G. B. (2005). Acid-Metal Balance of a Hydrocracking Catalyst: Ideal versus Nonideal Behavior. *Industrial y Engineering Chemistry Research*, 44(14), 5159-5169. Doi: 10.1021/ie049375+
- Tian, S. y Chen, J. (2014). Hydroisomerization of n-dodecane on a new kind of bifunctional catalyst: Nickel phosphide supported on SAPO-11 molecular sieve. *Fuel Processing Technology*, 122, 120-128. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.01.031>
- Verma, D., Rana, B. S., Kumar, R., Sibi, M. G. y Sinha, A. K. (2015). Diesel and aviation kerosene with desired aromatics from hydroprocessing of jatropha oil over hydrogenation catalysts supported on hierarchical mesoporous SAPO-11. *Applied Catalysis A: General*, 490, 108-116. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2014.11.007>