

Evaluación del catalizador emulsionado Fe/Ni para el mejoramiento de los crudos pesados

Evaluation of the Fe/Ni emulsion catalyst for the upgrading of heavy crudes

Tyrone Alcivar, Reyna¹; Monteros, Gabriel¹; Ramírez, John²; Garmendia, Henry^{3*}

¹Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Guayaquil, Ecuador.

²Postgrado de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

³Laboratorio de Petróleo y Catálisis Aplicada, Escuela Ingeniería Química, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela
*labpetroleo2018@gmail.com

Resumen

El mejoramiento de los crudos pesados venezolanos es actualmente un reto. Su conversión a materia prima de mayor valor agregado se logra por procesos de craqueo catalítico. La presente investigación tiene la finalidad de probar la eficacia de un catalizador Emulsionado a base de Fe/Ni en el proceso de vapocraqueo aplicado a dos crudos pesados Pilón y Carabobo. La fase activa de estos catalizadores está dispersa en una emulsión W/O, donde la fase dispersa son soluciones acuosas de las sales y la fase continua es un corte aromático. Se varió la relación Fe/(Fe+Ni) y las condiciones de operación permanecieron constantes $P=1931\text{kPa}$, $T=400^\circ\text{C}$ y tiempo de residencia de 45 min. Los resultados obtenidos arrojan que el catalizador 25%Fe -75%Ni es el mejor ya que, su efectividad se cuantifica con una reducción de residuo de vacío o fondo de barril, reducción de viscosidad y un aumento de la gravedad API.

Palabras claves: Crudos pesados, VapoCraqueo, Emulsiones catalítica

Abstract

The upgrade of Venezuelan heavy crudes is currently a challenge. Its conversion to higher value-added raw material is achieved by catalytic cracking processes. The purpose of this research is to test the effectiveness of a Fe/Ni based catalyst in the steam cracking process applied to two heavy crudes, Pilon and Carabobo. The active phase of these catalysts is dispersed in a W/O emulsion, where the dispersed phase is an aqueous solution of the salts and the continuous phase is an aromatic cut. The molar ratio Fe/(Fe+Ni) was varied and the operating conditions remained constant $P=1931\text{ kPa}$ and $T=400^\circ\text{C}$. The results obtained show that the 25%F -75%Ni catalyst is the best since its effectiveness is quantified with a reduction of vacuum residue or barrel bottom, viscosity reduction and an increase of API gravity.

Key words: Heavy Crudes, VapoCraking, Catalytic Emulsions

1 Introducción

El principal problema que presentan las reservas probadas de crudos venezolanos, es que la gran mayoría constituyen crudos pesados y extrapesados. Estos crudos poseen dos características muy limitantes para su aprovechamiento comercial: la carencia de fracciones livianas o de baja gravedad específica, y valores de viscosidad elevados. La primera característica le condena a un bajo valor de mercado, la segunda dificulta y hace más costoso su transporte a los centros refinadores. Esto hace que en estos crudos sea muy importante su refinación a través de la transformación de los hidrocarburos por procesos catalíticos o térmicos de mejoramiento y conversión.

Aproximadamente el 90% de los derivados del crudo utilizados a nivel mundial, provienen de destilados con puntos de ebullición menores de 350°C. Los crudos pesados y extrapesados no contienen cantidades apreciables de estos destilados, y se requieren procesos severos de conversión que permitan obtener estos productos de interés comercial, y así incrementar los rendimientos de estos destilados en refinería. En consecuencia, surge la necesidad de seguir experimentando tecnologías que permitan lograr este objetivo trazado.

Las tecnologías disponibles hasta ahora son aplicables a ciertas cargas de crudos pesados o extrapesados. Rana y col. (2007) realizaron un estudio a los recientes avances en las tecnologías de procesos para el mejoramiento de los crudos pesados y los residuales. El craqueo térmico y catalítico con hidrógeno se ha utilizado para el mejoramiento de estas cargas pesadas. Dentro del craqueo térmico, la viscorreducción o visbreaking se ha utilizado como técnica para disminuir la viscosidad los crudos pesados, extrapesados y residuos de vacío. Una modificación de la viscorreductora sería introducir un catalizador disperso en la carga pesada y vapor de agua para obtener un crudo sintético de mayor valor comercial. Pereira y col. (1998) presenta la tecnología AQUACONVERSION® como una alternativa comercial el mejoramiento de crudos pesados y extrapesados a boca de pozo como en refinería.

No todos los crudos pesados y extrapesados de la Faja Petrolífera de Orinoco tiene un mismo comportamiento a la hora de ser procesados por craqueo ya que, una parte es de fácil craqueo, que es la principal fuente de combustibles líquidos para el transporte de hidrocarburos y productos químicos industriales, y la otra es la parte de craqueo refractario, son aquellas cargas de crudos pesados, extrapesados y residuos de vacío que al craquearlo generan productos muy inestables y tiene efectos negativos en la mejora. Por lo tanto, se necesita desarrollar un método de procesamiento eficiente para obtener una mayor conversión de estas cargas.

Muchas investigaciones se han hecho en este campo, Li y col. (2019) estudiaron el efecto de los componentes retardantes en el cracking catalítico del petróleo pesado y sus correspondientes contraindicaciones.

Mientras que, Guo-Rui y col. (2016) evaluaron por acuatermolisis catalítica de crudos extrapesados la ruptura de los enlaces CS y la separación de los organosulfuros ligeros. En ese trabajo, desarrollaron un catalizador bifuncional avanzado con centro catalítico y donante de hidrógeno para catalizar la acuatermolisis del petróleo extrapesado del yacimiento de Shengli.

Eletskii y col. (2018) hacen una revisión del craqueo catalítico con vapor de agua de cargas pesadas. En su artículo se resumen los resultados de los estudios sobre el craqueo catalítico con vapor de cargas de crudos pesados (CCP), una posible alternativa al mejoramiento convencional del CCP basado en el rechazo del carbono (craqueo térmico, viscorreducción, craqueo catalítico) o la adición de hidrógeno (hidrocraqueo). Se examinaron las principales diferencias de este proceso con respecto al mejoramiento de CCP con agua (pirólisis acuosa en agua sub o supercrítica), las peculiaridades del craqueo catalítico con vapor según las condiciones del proceso y el tipo de catalizador, y los posibles mecanismos de participación del agua en el proceso.

La presente investigación realiza el mejoramiento de los crudos pesados y extrapesados por el proceso de vapocraqueo catalítico. El catalizador formulado es una emulsión catalítica de Fe/Ni como metales activos sulfurados. Este catalizador se dispersa en el seno del crudo trayendo la ventaja frente a los catalizadores soportados en sólidos porosos de no depender de las limitaciones difusionales y garantizar una alta interacción entre el metal y el crudo y poca desactivación catalítica. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la emulsión catalítica Fe/Ni en el mejoramiento de dos crudos pesados de la Faja Petrolífera del Orinoco tales como, Pilon y Carabobo. Se varió la relación Fe/(Fe+Ni) a condiciones de operación constantes y se midió algunos parámetros del crudo mejorado.

2 Metodología

2.1 Caracterización del Crudo Pesado

La caracterización de los crudos pesados procesados se llevó a cabo por las Normas ASTM (2007). Este análisis se efectuó antes y después de procesarlo por la planta de vapocraqueo. En la Tabla 1 se muestra la caracterización de los crudos antes de procesarlo.

Tabla 1. Caracterización de los crudos pesados

Parámetros	Crudos Pesados	
	Pilón	Carabobo
°API	12,10	9,30
Viscosidad (cP)		
40 °C	1245	10890
60 °C	456	5678
% CCR	14	17
% Asf	9,7	15
Valor P	1,8	2,75

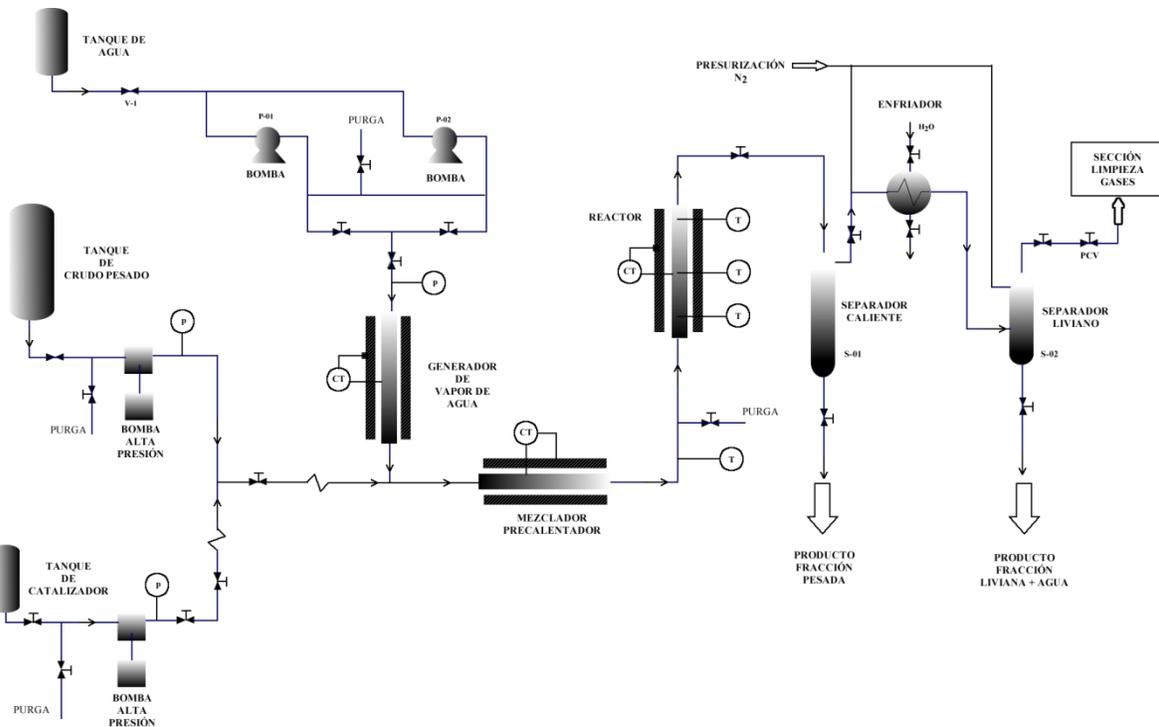


Figura 2. Planta de Vapocraqueo

2.2 Preparación del Catalizador

Los metales activos de Fe y Ni provienen de las sales de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Como agente sulfurante se utilizó el $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ y el surfactante utilizado fue el ácido oleico. El proceso de formulación del catalizador se muestra en la Figura 1. El procedimiento consiste en formar una emulsión con los metales activos y una emulsión del agente sulfurante, para luego mezclarse y formar una emulsión de los metales sulfurados y activos para el proceso de vapocraqueo.

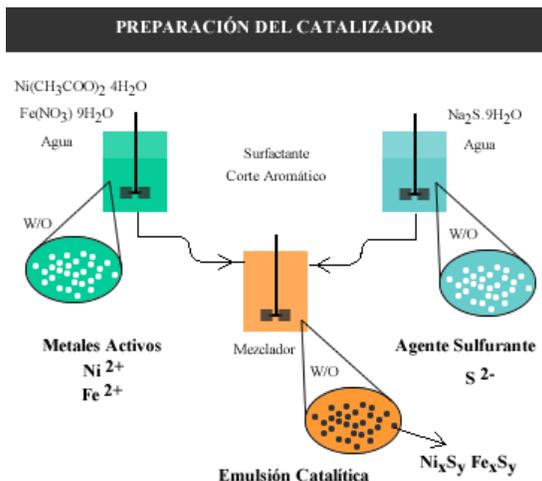


Figura 1. Preparación de la emulsión Catalítica

En la Tabla 2 se presentan los catalizadores Fe/(Fe+Ni) emulsionados variando su relación .

Tabla 2. Catalizador formulado Fe/Ni.

#	Proporciones Metales	Relación Fe/(Fe+Ni)	Concentración mg Cat/kg CP (ppm)
1	100% Fe : 0% Ni	1,00	200 mg/kg
2	75% Fe : 25% Ni	0,75	
3	50% Fe : 50% Ni	0,50	
4	25% Fe : 75% Ni	0,25	
5	0% Fe : 100% Ni	0,00	

2.3 Planta de Vapocraqueo

La Unidad de Vapocraqueo se muestra en la Figura 2. Es un proceso continuo. Se divide en tres secciones, la primera es el acondicionamiento de las materias a procesar como crudo pesado, catalizador emulsionado y vapor de agua. La segunda sección es el reactor donde se lleva a cabo las reacciones de craqueo y la última sección donde se separa la fracción pesada de la fracción liviana, agua y gases formados, los cuales van a la unidad de tratamiento de gases.

Las condiciones de operación se muestran en la Tabla 2. Estas condiciones permanecen constante y solo se varía la relación Fe/Fe+Ni.

Tabla 2. Condiciones de Operación

Parámetro	Valor
Presión	1931 kPa
Temperatura	400 °C
Flujo de Crudo Pesado	250 g/min
Concentración de Catalizador	250 ppm
Tiempo de residencia	45 min

3 Resultados

3.1 Estabilidad de la Planta

La planta de vapocraqueo debe estar estable durante las corridas a efectuarse. Los parámetros que se tomaron en cuenta fueron la presión, temperatura y el balance de materia.

3.1.1 La presión

Este parámetro permaneció constante durante todas las corridas a 1931 kPa (280 psig). Durante el transcurso de las experiencias, en ningún momento se abrió la válvula reguladora de presión (PCV). Por consiguiente, al no haber perturbaciones significativas en la presión de operación, no es algo que pueda haber condicionado los resultados de las muestras analizadas.

3.1.2 La temperatura

La planta cuenta con varias termocuplas que registran la temperatura en varias zonas. El seguimiento durante las corridas se hizo en (1) Generador de vapor, (2) Punto de mezcla de las corrientes de entrada, (3) mezclador-precalentador, (4) parte interna del separador caliente y (5) parte interna de reactor.

La Figura 3 muestra la estabilidad de la temperatura en los puntos señalados anteriormente para el caso de 100% Fe como catalizador y las demás variables (tiempo de residencia y flujo de entrada) permanecieron constantes.

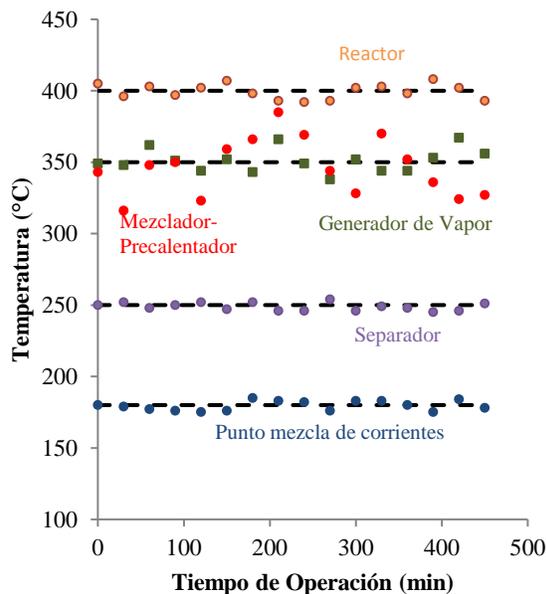


Figura 3. Estabilidad de la temperatura en el proceso para el caso Crudo Carabobo y 100%Fe

Se observa en la Figura 3 el comportamiento de la temperatura en función del tiempo de operación. Las temperaturas medidas en cada punto se mantuvieron aproximadamente constantes variando en un porcentaje muy bajo en el punto de ajuste. Pero dentro de este comportamiento, el mezclador-precalentador muestra un comportamiento muy inestable con respecto al punto de

ajuste y se observó durante todas la experiencias realizadas. Esta variación de temperatura no ejerce una mayor perturbación en el reactor ni en el separador. Por lo tanto, se puede concluir que la unidad de vapocraqueo presenta una buena estabilidad.

3.1.3 Perfil de temperatura del reactor

Este perfil de temperatura es una variable muy importante dentro del proceso. El objetivo de mantener un perfil desde la entrada hasta la salida depende de las reacciones que se lleva a cabo dentro del reactor. Por consiguiente, la temperatura a la entrada es baja y va incrementándose a medida que pasa por el reactor. Si durante las corridas se observa un incremento brusco de la temperatura esto es un indicio de que la carga pueda estar coquificándose dentro del reactor.

En la Figura 4 se muestra el perfil de temperatura del reactor para el mismo caso de estudio. Se observa que aproximadamente el 80% de longitud del reactor la temperatura oscila entre 399°C y 401°C, el cual representa un $\pm 1^\circ\text{C}$ de ΔT con respecto a 400°C. Además, un 15% de la longitud de entrada del reactor se incrementa de 396°C a 399°C y a la salida del reactor la temperatura incrementa de 401°C a 404°C, esto se debe a que hay fuertes reacciones de craqueo. Por último, el ΔT oscilo entre $\pm 4^\circ\text{C}$, observándose que no hubo cambio brusco de este y que permite establecer que no hubo problemas de coquificación, este hecho se debe a que el tiempo de residencia es óptimo, para el caudal de carga y volumen del reactor ($\tau = V_R/Q_{carga}$).

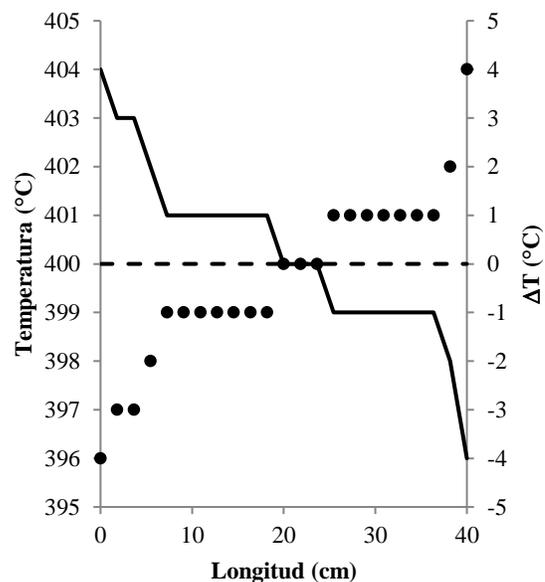


Figura 4. Perfil de temperatura del Reactor

3.1.4 Verificación de los balances de materia

Es muy importante llevar un seguimiento a las materias de entrada y las materias a la salida. Esta cuantificación representa el balance de materia de la unidad de vapocraqueo.

A continuación se muestra los cierres de los balances para los crudos pesados Pilón y Carabobo.

Las Figuras 5 y 6 se muestran los intervalos alcanzados en los balances de materia de cada una de las experiencias realizadas en la planta para los crudos pesados Pilón y Carabobo.

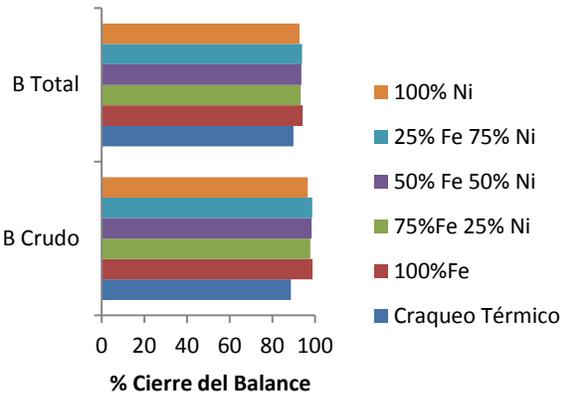


Figura 5. Cierre del Balance de materia para el Crudo Pesado Pilón.

Como se puede ver en las figuras 5 y 6, en todas las corridas de planta se ha obtenido unos intervalos para el balance de crudo superiores al 95% y para el balance total por encima del 92%. No así en el craqueo térmico para el caso crudo Pilón y para el caso de craqueo catalítico 100% Fe usando crudo Carabobo. Los bajos cierres de balance de materia para estos casos se debe a errores en tomar las muestras y la formación de una emulsión en la fracción liviana que no permite separar en forma eficiente el agua de la fracción liviana.

Por consiguiente, los resultados obtenidos del cierre del balance de materia están por encima del 90% el cual es aceptable a escala de laboratorio y son bastante satisfactorios.

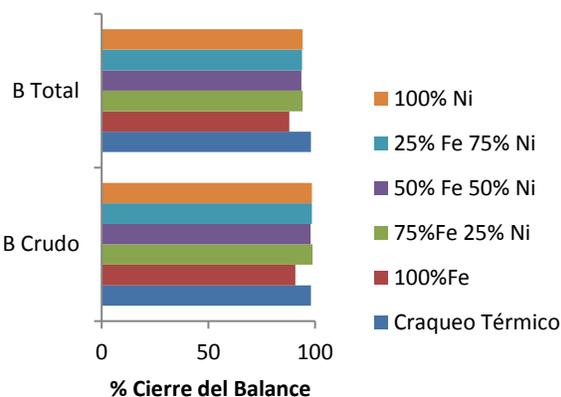


Figura 6. Cierre del Balance de materia para el Crudo Pesado Carabobo

3.2 El sistema catalítico

La efectividad de formular nuevos sistema catalítico vía emulsiones W/O abre un gran abanico para el procesamiento de los crudos pesados, extrapesados y residuos de vacío. Esta nueva formulación de sistemas catalítico tiene grandes ventajas con respecto a los sistemas catalíticos tradicionales, ya que estos se dispersan en seno del crudo logrando un mejor contacto, se evita los efectos de perdida de efectividad del catalizador por taponamiento de poros y problemas de contaminantes que envenenan el catalizador y por último, son catalizadores de un solo paso por el reactor y este al final pueden recuperarse del crudo por medio de la tecnología de desalado.

Los resultados de la efectividad del catalizador Fe/Ni emulsionado para los crudos pesados Pilón y Carabobo se cuantifico por los siguientes parámetros:

3.2.1 Valor P

En la Figura 7 se muestran los resultados obtenidos de Valor P para todos los casos estudiados. Este parámetro mide la estabilidad o inestabilidad del crudo sintético luego ser procesado. El valor mínimo que se toma es 1,15 por debajo de esta se dice que el crudo es inestable o tiene ya sólidos insolubles en el seno del crudo y por encima de este valor se dice que la muestra es estable.

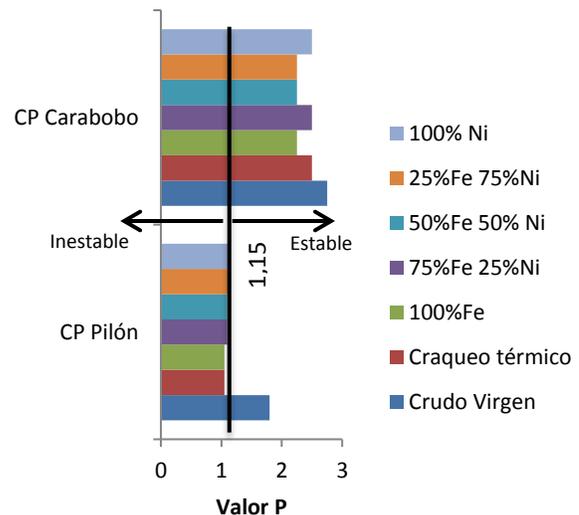


Figura 7. Valor P

De esta figura se observa los siguientes hechos para el crudo pesado Pilón, (1) el valor P para la carga a procesar se encuentra por encima de 1,15 clasificándose como un crudo estable. (2) en el craqueo térmico el crudo sintético obtenido es inestable ya que, tiene un valor P por debajo de 1,15 que el crudo antes de procesar. (3) al cambiar la relación Fe/Fe+Ni, no se observa una variación apreciable de este valor, a partir de la relación 75%Fe 25%Ni comienza a aumentar levemente, este hecho puede deberse que durante

el craqueo catalítico se forme fracciones aromáticas que disuelva más los asfaltenos y de esta manera el valor incremente y por último, (4) la baja estabilidad se puede atribuir al hecho de que el crudo presenta fracciones que al craquearlas se reacomodan generando sólidos suspendidos, que por cualquier efecto de dilución, presión y temperatura hace que el producto obtenido es inestable.

Mientras que, el crudo pesado Carabobo tiene un comportamiento diferente del crudo pesado Pilón y sus características son las siguientes: (1) presenta un valor P alto para la carga inicial por lo cual es una carga estable, (2) durante el procesamiento por craqueo térmico el valor P no disminuye apreciablemente, logrando obtener un crudo sintético estable, (3) en el procesamiento catalítico el valor P disminuye de manera insipiente, indicando que el crudo sintético obtenido es estable.

Por tanto, se puede concluir que los catalizadores formulados de Fe/Ni disminuye significativamente la estabilidad de los crudos sintéticos obtenidos por el crudo Pilón, y no así, para el crudo Carabobo, lo que este parámetro no es un factor que pueda restringir su uso. Además, permite que el crudo pesado Carabobo pueda procesarse a una temperatura más alta hasta que alcance un valor P de 1,15 que representa el valor límite de estabilidad y por debajo de este se obtiene productos inestables, con alto contenido de sólidos presentes generando problemas de coquificación y la formación de un lodo a la hora de almacenarlo.

3.2.2 Gravedad API

En la Figura 8 se muestran los resultados obtenidos de gravedad API para los casos estudiados. Se observa que la gravedad API incrementa con respecto al crudo original. Este incremento de °API es indicativo de un aumento en destilado. Para el crudo Pilón se observa un máximo de gravedad para la relación Fe/Fe+Ni igual a 0,25, mientras que para el crudo Carabobo se obtiene a partir de Fe/Fe+Ni=0,5 y 0,25. La ganancia de API se calcula por

$$\Delta^{\circ}\text{API} = ^{\circ}\text{API}_{\text{Crudo sintético}} - ^{\circ}\text{API}_{\text{Crudo Original}} \quad (1)$$

En la Tabla 3 se muestra los resultados de la ganancia de °API. Esta diferencia representa la cantidad de fracción de destilados que se recupera en la destilación como producto de la actividad de la emulsión catalítica. Para ambos crudos, el empleo de una relación catalizador Fe/Fe+Ni=0,25 dio como resultado un producto con una °API superior al crudo original y al del craqueo térmico. Lo que indica que este catalizador formulado tiene la mayor actividad para mejorar esta propiedad.

Por tanto, las diferentes relaciones Fe/Fe+Ni tienen actividad catalítica para mejorar esta propiedad para ambos crudos. La mejor relación Fe/Fe+Ni es 0,25 dando como resultado un valor de °API mayor que las otras relaciones y por encima del craqueo térmico. Este aumento de °API se ve reflejado en un aumento del volumen de destilado en la destilación al vacío.

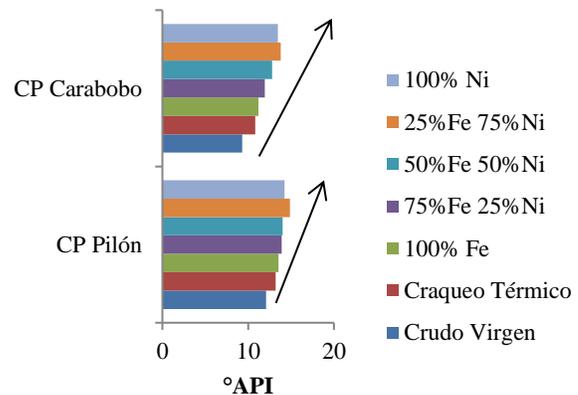


Figura 8. Gravedad °API del crudo pesado procesado

Tabla 3. Valores de los $\Delta^{\circ}\text{API}$

	$\Delta^{\circ}\text{API}$	
	Pilón	Carabobo
Crudo Virgen		
Craqueo Térmico	1,11	1,52
100% Fe	1,44	1,91
75% Fe 25% Ni	1,79	2,64
50% Fe 50% Ni	1,91	3,50
25% Fe 75% Ni	2,79	4,48
100% Ni	2,14	4,17

3.2.3 La Viscosidad

En la Figura 8 se muestra la viscosidad en función de la temperatura para los crudos estudiados. A medida que aumenta la temperatura la viscosidad disminuye. Esta variable es importante y está relacionada con el transporte de los crudos desde campo al centro refinador.

En cada una de las muestras se ha medido la viscosidad a dos temperaturas diferentes, en el caso del crudo Pilón estas temperaturas han sido 40°C y 60°C, mientras que en el crudo Carabobo, al ser bastante más viscoso se ha optado por medirla a 60°C y 80°C.

La Figura 9 muestra los resultados obtenidos para el vapocraqueo catalítico del crudo Pilón. Se observa que para las diferentes experiencias realizadas la viscosidad disminuye. Los resultados indican (1) que el craqueo térmico se comporta como una viscorreductora logrando reducir la viscosidad, (2) la adición de un catalizador como el Fe/Ni tiene una actividad efectiva de reducir la viscosidad, logrando para la relación Fe/Fe+Ni igual 0,25 la mínima reducción de la viscosidad con respecto a las otras relaciones de Fe/Fe+Ni.

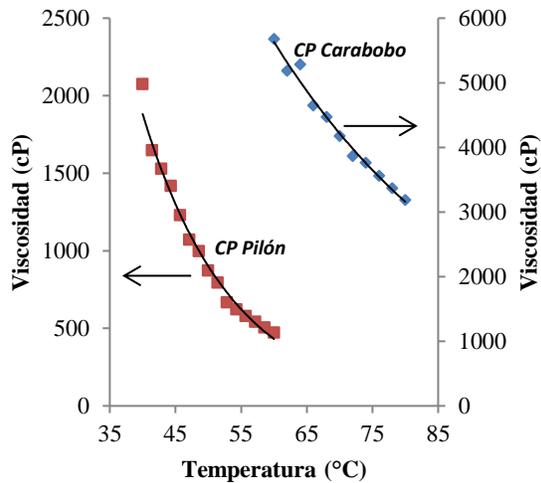


Figura 8. Viscosidad en función de la temperatura para Crudos Pesados

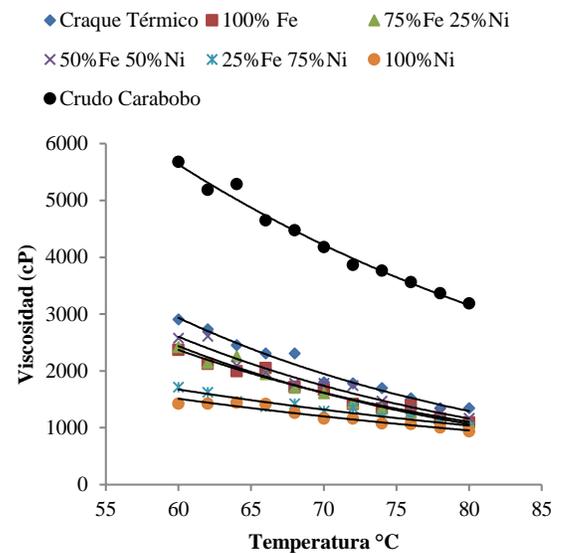


Figura 10. Viscosidad del Crudo Carabobo procesado

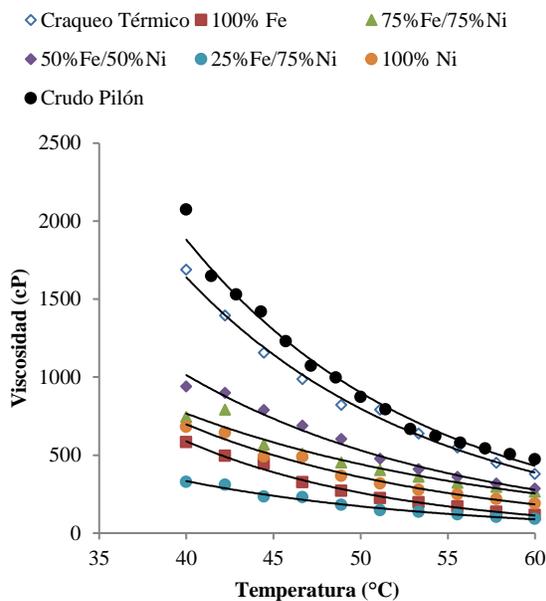


Figura 9. Viscosidad del crudo pesado Pílon procesado

En la figura 10 se muestra los resultados de la viscosidad en función de la temperatura para el crudo Carabobo procesado. Se observa que a medida que la temperatura aumenta la viscosidad disminuye. Las formulaciones del catalizador Fe/Ni presentan una alta efectividad para este crudo. La relación Fe/Fe+Ni igual a 0,25 y 0 presenta la mejor eficiencia en reducir la viscosidad del crudo.

Por tanto, la emulsión catalítica de Fe/Ni tiene una alta efectividad en reducir la viscosidad y en especial, la relación Fe/Fe+Ni igual 0,25 donde se obtuvo la mínimos valores de viscosidad en función de la temperatura.

3.2.4 Contenido de Asfaltenos

En la Figura 11 se muestran los resultados del contenido de asfaltenos para cada experiencia realizada. Se observa que para el craqueo térmico el contenido de asfaltenos incrementa, mientras que, para el craqueo catalítico disminuye. Esto indica que el catalizador formulado tiene cierta actividad en convertir los asfaltenos en moléculas más livianas.

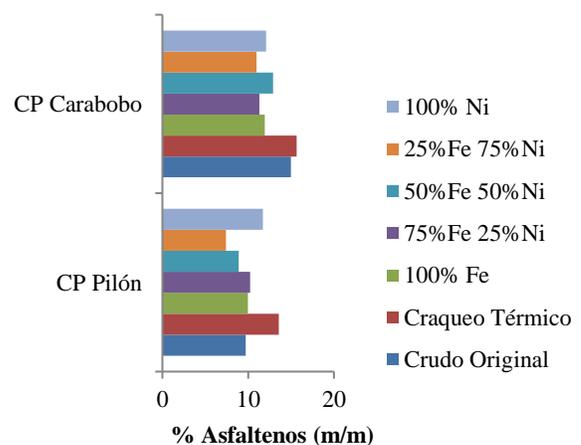


Figura 11. Contenido de Asfalteno

En la Figura 12 se muestra la ganancia y pérdida de asfaltenos para cada experiencia realizada. Se observa que el crudo Pílon tiene ganancia para la formulación catalítica 25%Fe 75%Ni y 50% Fe 50%Ni. Logrando entre ellas una mejor actividad el catalizador 25%Fe 75%Ni. Para el crudo

Carabobo se aprecia una mayor actividad catalítica. La formulación 25%Fe 75%Ni presenta la mayor conversión de ganancia de asfaltenos.

Al comparar entre el crudo Pilón y Carabobo, se aprecia que el crudo Carabobo tiene mayor conversión de ganancia en este parámetro. La pérdida observada se asocia en la producción de asfaltenos, el crudo pilón presenta mayor pérdida con respecto al crudo pesado Carabobo. Esto se debe a su bajo Valor P, que permite que los asfaltenos se agregue y flocule dando un crudo sintético inestable.

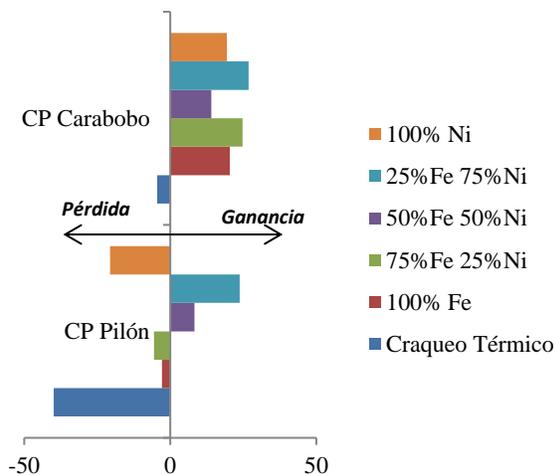


Figura 12. Ganancia y Pérdida de Asfaltenos

3.2. 5 Carbón Conradson

El residuo de carbono de Conradson (CCR) es una prueba de laboratorio que se utiliza para dar una indicación de las tendencias de formación de coque de un crudo pesado, extrapesado o residuo de vacío. La evaluación de este parámetro es importante en el proceso vapocraqueo ya que nos permite tener una idea de la formación de coque dentro del reactor y su posible taponamiento del mismo.

En la Figura 13 se muestran los resultados obtenidos del análisis de carbón Conradson (CCR) para las diferentes formulaciones del catalizador Fe/Ni. Se observa que %CCR disminuyó con respecto al crudo original. Esto se debe a que moléculas de gran tamaño se craquean para formar moléculas de menor peso molecular y de esta manera se evita parcialmente la formación de coque.

Para todos los casos estudiados, los resultados de este parámetro en el proceso catalítico son muy similares al de craqueo térmico. Esto es indicativo de que las formulaciones de catalizadores no son muy activas en disminuir el contenido de carbón Conradson en el producto final.

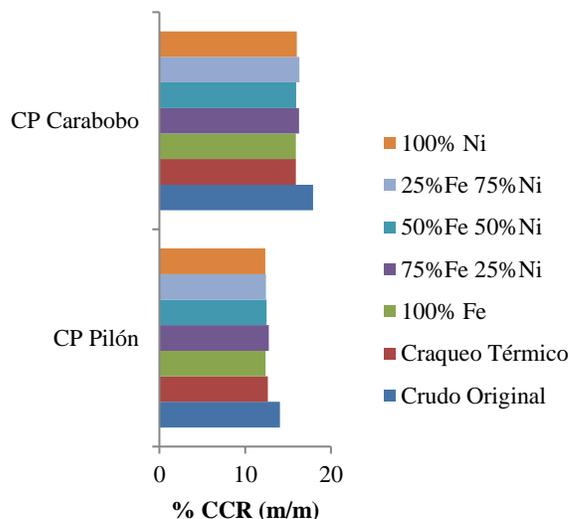


Figura 13. Contenido de Carbón Conradson

En la Figura 14 se muestra Ganancia o Pérdida de este parámetro en la efectividad del catalizador formulado. Se observa que tanto para el crudo pesado Pilón y el crudo pesado Carabobo muestra una ganancia, es decir una conversión de CCR. Sin embargo, no hubo una diferencia entre el caso térmico y el catalítico.

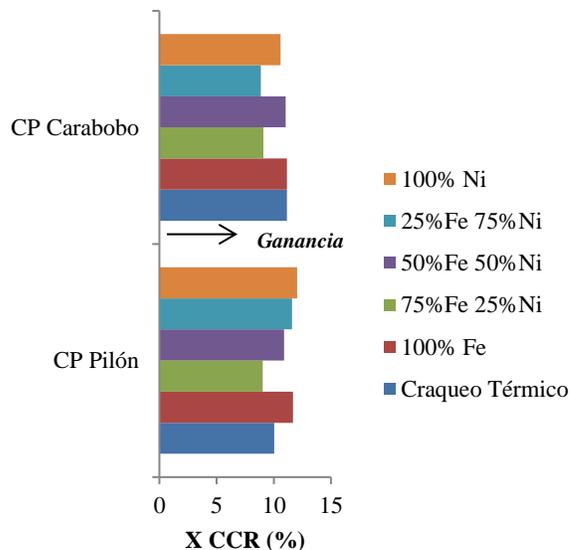


Figura 14. Ganancia y Pérdida de Carbón Conradson

3.2.6 Rendimiento

El rendimiento se midió por destilación al vacío de los crudos Pilón y Carabobo. En la Figura 15 se muestra la fracción 500 °C⁺ para el crudo original Pilón y Carabobo. El crudo pesado Pilón tiene 56% de residuo 500°C⁺ mientras que, el crudo Carabobo tiene 60% de residuo 500°C⁺. Tanto el craqueo

térmico como el catalítico reduce la fracción 500°C⁺. Se observa que la formulación 100%Fe tiene mejor actividad en reducir esta fracción en el crudo Carabobo, mientras que la formulación 25%F 75%Ni tiene mejor actividad en disminuir dicha fracción en el crudo Pílon.

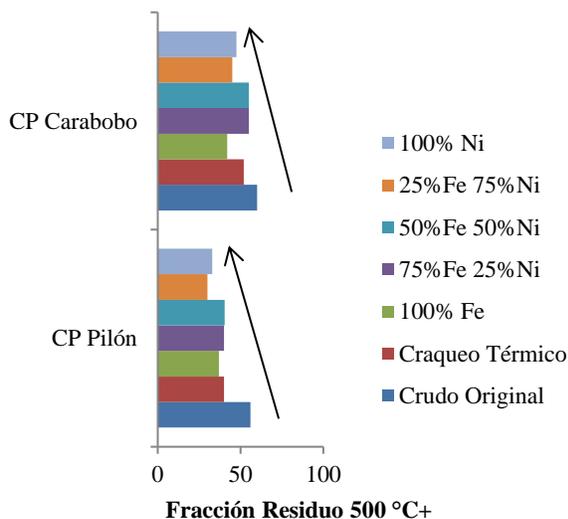


Figura 15. Rendimiento

La figura 16 muestra la conversión 500°C⁺ para las diferentes experiencias realizadas, observándose que para el crudo Pílon obtuvo máxima conversión para la formulación 25%Fe 75%Ni seguida de la formulación 100%Ni. Mientras que para el crudo Carabobo se consigue para la formulación 100%Fe, seguido de la formulación 25%Fe 75%Ni.

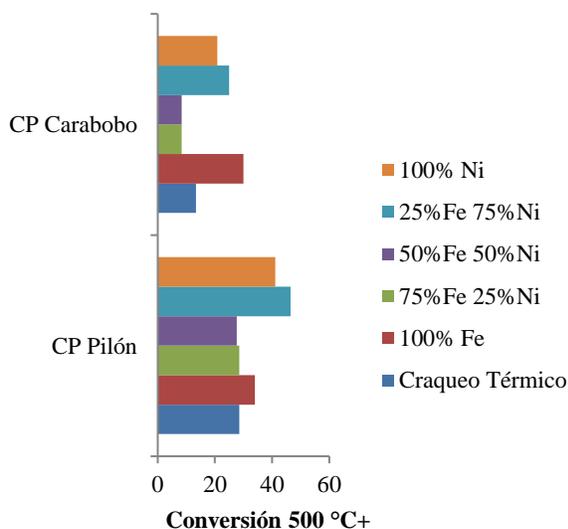


Figura 16. Conversión 500°C⁺

Por tanto, se selecciona la formulación 25% Fe 75%Ni como la mejor formulación de catalizador que sirve para ambos crudos convertir esta fracción 500 C⁺.

4 Conclusiones

En el presente estudio se investigó el mejoramiento de los crudos pesados empleando catalizadores emulsionados Fe/Ni, los cuales arrojaron actividad catalítica.

La unidad de vapocraqueo presentó una buena estabilidad durante las experiencias.

El crudo Carabobo es más estable que el crudo Pílon.

La relación Fe/Fe+Ni igual a 0,25 presentó mejor actividad para obtener un crudo sintético con ciertas propiedades que lo hace ventajoso en subsecuentes procesos.

La densidad, la relación Fe/Fe+Ni más efectivo es el de 0,25, ya que logra aumentar la gravedad API. Las relaciones Fe/Fe+Ni igual a 1 y 0 también han dado buenos resultados.

En cuanto a la viscosidad, la relación de Fe/Fe+Ni que contribuye con este parámetro en el crudo Pílon y ha resultado ser de 1, mientras que para el Carabobo ha sido el 0 (100%Ni). Para la relación Fe/Fe+Ni 0,25, pese a no ser el mejor en ninguno de los crudos, también se han obtenido buenos resultados en la reducción de la viscosidad.

Según los resultados conseguidos en %Asf, la mejor relación Fe/Fe+Ni ha sido la de 0,75. La relación Fe/Fe+Ni 0,25, pese a conseguir buenos resultados en rendimientos, densidad y viscosidad, no parece ser efectivo para reducir el contenido de asfaltenos.

La relación Fe/Ni de los catalizadores emulsionados son buenos candidatos para el mejoramiento de crudos pesados extrapesados y residuos de vacío.

Referencias

- ASTM. 2007, Annual Book of Standards. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA pp.15-150.
- Eletskii PM, Mironenko O, Kukushkin RG, Sosnin GA, 2018, Catalytic Steam Cracking of Heavy Oil Feedstocks: A Review. Catalysis in Industry, Vol 10 No 3, pp. 185-201.
- Guo-Rui Li, Yu Chen, Yong A, Yan-Ling Chen, 2016. Catalytic aquathermolysis of super-heavy oil: Cleavage of CS bonds and separation of light organosulfurs. Fuel Processing Technology. Volume 153, 1 December, pp 94-100
- Li Zekun, Wang Gang, Gao Jinsen, 2019, Effect of Retarding Components on Heavy Oil Catalytic Cracking and Their Corresponding Countermeasures. Energy & Fuel. 40, pp 12-20.
- Pereira Pedro, Salerno G, Machin I, Cotte E, 1998, AQUACONVERSION: A new option for residue conversion

and heavy oil upgrading. *Visión Tecnológica*. Vol. 6 No. 1, pp 5-14.

Rana M, Ancheyta J, Sámano V, Díaz J, 2007, A review of recent advances on process technologies for upgrading of heavy oils and residua. *Fuel*. 86, pp 1216-1231.

Recibido: 15 de febrero de 2020

Aceptado: 05 de junio de 2020

Alcivar, Tyrone: M.Sc en Ingeniería Química, ULA, Mérida, Venezuela. Ingeniero Químico. Docente en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: talcivar@espol.edu.ec

Monteros, Gabriel: MSc en Ingeniería Química, ULA, Mérida, Venezuela. Ingeniero Químico. Investigador en el área de Tecnologías Químicas. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: gmontero@espol.edu.ec

Ramírez, John: MSc en Ingeniería Química, ULA, Mérida, Venezuela. Docente de Ingeniería Química y Jefe del Postgrado de Ingeniería Química. ULA Mérida, Venezuela. Correo electrónico: jram@ula.ve

Garmendia, Henry: Ingeniero Químico. Investigador en Ciencias Básicas, Aplicadas y Naturales. Laboratorio de Petróleo y Catálisis Aplicada. ULA. Mérida, Venezuela.