

Evaluación de las curvas de destilación de la fracción pesada del proceso de vapocraqueo catalítico de crudos pesados

Evaluation of the distillation curves of the heavy fraction of the vapocraqueo process of heavy crudes

Tyron 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 presente trabajo tiene por objetivo evaluar las curvas de destilación de las fracciones pesadas del proceso Vapocraqueo de crudos pesados usando emulsiones catalíticas. La metodología implicó 4 etapas: Ajuste de los datos experimentales, extensión o extrapolación de la curva en el rango 0 al 100% de destilados, conversión de la curva ASTM a TBP y por último determinar el rendimiento o distribución de las diferentes fracciones. Esta metodología se la aplicó a una data del proceso de vapocraqueo usando catalizadores Ni/K, Fe/Mo y Fe/Mo/Mg. Las condiciones de operación del proceso fueron 410 °C, 1931 kPa y una carga de 200 g/min de crudo pesado. La carga fue el crudo pesado Pilón de la Faja Petrolífera del Orinoco. Por último, los resultados fueron satisfactorios, se apreció mejor la distribución de los cortes o fracciones presente, además refleja que el modelo de función seleccionado es capaz de ajustar los datos experimentales y de forma eficiente realizar cálculos.

Palabras clave: Destilación ASTM, TBP, crudos pesados.

Abstract

The aim of this paper is to evaluate the distillation curves of the heavy fractions of the process Vapocraqueo of heavy crude using catalytic emulsions. The methodology involved 4 stages: Adjustment of experimental data, extent or extrapolation of the curve in the range 0 to 100% distillates, conversion of the ASTM curve to TBP and finally determine the performance or distribution of the different fractions. This methodology was applied to a data from the process of Vapocraqueo using Ni/K, Fe/Mo and Fe/Mo/Mg catalysts. The operating conditions of the process were 410 °C, 1931 kPa and a load of 200 g/min of heavy crude. The load was the heavy crude Pilon of the Orinoco Oil Belt. Finally, the results were satisfactory, the distribution of the cuts or fractions present was better appreciated, and it reflects that the selected function model is able to adjust the experimental data and efficiently perform calculations.

Key words: Distillation ASTM, TBP, heavy crude oil.

1. Introducción

Venezuela posee las mayores reservas probadas de crudo pesado del mundo, con 300.878 MMBLS millones de barriles hasta diciembre de 2016. Estas inmensas reservas se componen de crudos pesados y extrapesados. Estos crudos son difíciles de transportar desde su sitio de producción hasta los centros de refinación.

Para refinar un crudo pesado o extrapesado se debe realizar su caracterización. Las técnicas más utilizadas son las ASTM. Dentro de los métodos estandarizados la ASTM D86 y ASTM D1160 son aplicadas ampliamente. Estas técnicas están disponibles para las pruebas de destilación en fracciones de petróleo o petróleo (Fahim y col., 2012, Ott y col., 2008), y también se pueden utilizar para establecer especificaciones para fluidos complejos (Ott y col., 2008, Bruno y col., 2010). La ASTM D86 se lleva a cabo a presión atmosférica y se utiliza para obtener información sobre gasolina, nafta, queroseno, gasóleos y otras fracciones de petróleo similares. En cuanto a las fracciones de petróleo pesado, se utiliza comúnmente la ASTM D1160. Esto se realiza a presiones más bajas (1 y 50 mmHg) y las temperaturas obtenidas se convierten según ASTM D86 (API, 1997). Los datos obtenidos con ASTM D86 y ASTM D1160 se pueden convertir en temperaturas de punto de ebullición real (TBP) (ASTM D2892), siendo esta una herramienta fiable para la caracterización de fracciones de petróleo crudo. Sin embargo, dado que el método TBP es costoso y consume mucho tiempo, la conversión de valores obtenidos con ASTM D86 y ASTM D1160 a TBP ofrece un enfoque más rápido con resultados aceptables (Fahim y col., 2012).

Varios trabajos en la literatura con respecto a la caracterización de crudos se encuentran. Carbognani y col. (1999) hacen una revisión sobre la evaluación y caracterización de crudos Venezolanos, haciendo énfasis en la selección de las metodologías disponibles más apropiadas para la generación de la información requerida en cada aplicación. Se detallan las técnicas de destilación, espectrometría y cromatografía, ilustrándose las mismas con algunos ejemplos significativos.

Tarifa y col. (2008) realizan la determinación de la curva de destilación flash para cortes de petróleo utilizando simuladores comerciales. Lo más resaltante es que el método propuesto tiene varias ventajas: 1) evita la necesidad de obtener la curva EFV en forma experimental; 2) es independiente del tipo de curva experimental a utilizar para ajustar el modelo; 3) permite realizar estimaciones para diferentes presiones utilizando una única curva experimental como dato.

Hoffman (1969) realiza la determinación de la curva de distribución mediante una destilación ASTM que puede transformarse en una verdadera curva de distribución de punto de ebullición. Las relaciones de pendiente habituales y las relaciones de punto de ebullición iniciales que se encuentran en la literatura se utilizan para llevar a

cabo la transformación. También se puede llevar a cabo lo inverso: la transformación de la verdadera curva de ebullición a la curva ASTM.

Los métodos para determinar la curva PEV y obtener cortes de residuos son ASTM D2892 y ASTM D5236. Estos se limitan a la temperatura final de la destilación y su residuo final a 565 °C, lo que lleva a un bajo porcentaje de destilado cuando se evalúan los crudos extrapesados, lo que dificulta definir la conversión adecuada. Para satisfacer las necesidades de caracterización de fracciones pesadas, Wolf y col. (2008) diseñaron una planta piloto de destilación molecular por película ascendente (prototipo). Mientras que, Filho y col. (2006) desarrollaron una correlación que permite la extensión de la curva PEV a través de destilación, en un rango de 540 °C a aproximadamente 700 °C.

El mejoramiento de los crudos pesados consiste en romper las moléculas más pesadas del crudo en moléculas más pequeñas. Este proceso se lleva a cabo por craqueo térmico o catalítico. Dentro de ellos se encuentra el Vapor Craqueo Catalítico y lo novedoso es que el catalizador se introduce a la unidad en forma emulsionada. Rodríguez y col. (2007) realizó el procesamiento de crudos pesados usando catalizadores líquidos, mientras que, González (2012) llevo a cabo el vapocraqueo de crudos pesados usando emulsiones catalíticas Fe/Ni. Para llevar a cabo esta evaluación, los datos son tomados del proyecto: proceso de Vapocraqueo para la conversión de crudos pesados usando emulsión catalítica desarrollada en laboratorio de Petróleo y Catálisis Aplicada.

Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la destilación de las fracciones pesadas obtenidos por el proceso de Vapocraqueo para la conversión de crudos pesados usando emulsión catalítica.

2. Fundamento teórico

2.1. Destilación ASTM

La destilación ASTM se lleva a cabo en un aparato relativamente simple que consiste en un balón de destilación que contiene la muestra conectada a un condensador inclinado, que condensa los vapores ascendentes. Las fracciones destiladas se recogen en un cilindro graduado. La temperatura de los vapores incrementa y se registra en un intervalo específico de los destilados recogidos. Esto es esencialmente una destilación por lotes con una etapa de equilibrio y sin reflujo y separación mínima de los componentes de las fracciones. Para la gasolina, el queroseno, el gasóleo y destilados ligeros y medios similares, se utiliza el método ASTM D86, que se lleva a cabo a presión atmosférica. Los productos petrolíferos pesados, que tienden a descomponerse en el método ASTM D86 pero que pueden vaporizarse parcial o completamente a una temperatura máxima de 400 °C (750 °F) y presiones de hasta 1 mm Hg,

se destilan utilizando el método ASTM D1160. Se lleva a cabo a presiones entre 1 y 760 mm Hg.

La temperatura a la que se recoge la primera gota de condensado se denomina punto de ebullición inicial (IBP). El punto final (EP) es la temperatura máxima de vapor cuando se destila casi toda la muestra (por encima del 95%). Las temperaturas de ebullición a presiones subatmosféricas (menos de 760 mm Hg) se pueden convertir en NBP (a 760 mm Hg) mediante el procedimiento 5A1.13 de API-TDB (API, 1993).

El fraccionamiento mínimo se produce en la destilación ASTM, y los componentes de la mezcla no destilan uno por uno en el orden de sus puntos de ebullición, sino más bien como mezclas de puntos de ebullición sucesivamente más altos.

Sin embargo, debido a que las destilaciones ASTM se llevan a cabo rápidamente y se han automatizado con éxito, requieren sólo una pequeña muestra, y son bastante reproducibles, son ampliamente utilizadas.

2.2 Destilación de Punto de Ebullición Real (TBP)

Los datos de la destilación de TBP proporcionan una caracterización más detallada de la volatilidad del petróleo crudo o la fracción de petróleo. Se realiza en columnas con 15 placas teóricas o etapas de equilibrio y una relación de reflujo de 5. Los vapores en incremento se condensan y se recogen a una velocidad constante de puntos de ebullición o a una velocidad constante de vaporización de la muestra. El funcionamiento es de 760 mm Hg para puntos de ebullición por debajo de 400 C (750 F). Para fracciones de punto de ebullición más altas, la destilación se lleva a cabo a presiones reducidas tan bajas como 0,5 mm Hg.

Los resultados de las operaciones de vacío se extrapolan a la presión atmosférica. El alto grado de fraccionamiento en esta prueba proporciona una distribución precisa de los componentes. Debido a que el grado de separación para una prueba de destilación TBP es mucho mayor que el de la prueba de destilación ASTM, su IBP es menor y su EP es mayor que el de la prueba ASTM. La curva TBP se utiliza generalmente como base para la caracterización del petróleo crudo o un producto petrolífero con fines de diseño y análisis.

2.3 Conversión entre las Curvas de Destilación ASTM y TBP

Dado que la destilación de TBP es tediosa y requiere mucho tiempo en comparación con el método ASTM, ha habido un incentivo para desarrollar correlación para convertir ASTM a la destilación de TBP y, al mismo tiempo, lograr el beneficio de la separación detallada de TBP con el poco esfuerzo de la destilación ASTM.

La ecuación siguiente sugerida por Riazi y Daubert (1980) y publicada por el API (1993) se utiliza para la interconversión, denominada método API:

$$TBP = a(ASTM D86)^b \quad (1)$$

Donde a y b son constantes que varían con el porcentaje de muestra líquida destilada según se indica en el Tabla 1. La TBP es una temperatura real de punto de ebullición a 0, 10, 30, 50, 70, 90 y 95 por ciento de volumen destilado, en grados Rankin. ASTM D86 es la temperatura ASTM D86 observada en el volumen correspondiente por ciento destilado, en grados Rankin. El error medio entre la TBP calculada y la medida se encuentra en el rango de 5 °C (41 °F).

Tabla 1. Constantes de la ecuación 1

% Vol	a	b
0	0,9167	1,0019
10	0,5277	1,0900
30	0,7429	1,0425
50	0,8920	1,0176
70	0,8705	1,0226
90	0,9490	1,0110
95	0,8008	1,0355

Más recientemente, Daubert (1994) publicó un nuevo método para la interconversión de curvas de destilación.

3 Metodología

3.1 Materia Prima

Las muestras usadas en este estudio fueron obtenidas a partir del proceso Vapocraqueo para la conversión de crudos pesados usando emulsiones catalíticas. El crudo pesado tratado fue Crudo Pesado Pilón proveniente de la Faja Petrolífera del Orinoco. En la Tabla 2 se muestran las características físico-químicas del crudo. En la unidad de Craqueo se procesa en forma continua 200g/min a 300 g/min de crudo pesado a la presión de 1931 kPa y la temperatura del reactor de 410°C para el craqueo catalítico. Las emulsiones catalíticas evaluadas fueron Ni/K, Fe/Mo y Fe/Mo/Mg.

Tabla 2. Caracterización del Crudo Pesado Pilón

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad @ 25°C	g/mL	0,9810
Gravedad API	°API	11,83
Viscosidad @ 25°C	cP	3720
Contenido de Azufre	% m/m S	3,18
Contenido de Metales	ppm Ni	103
	ppm V	216
Contenido de Asfaltenos	% m/m Asf	10,5
Contenido de Carbón	% m/m CCR	12,84
Conradson		

3.2 Proceso de destilación

Las muestras tomadas del proceso se rotulan como la fracción de livianos y la fracción de pesados. La fracción

de liviano se destila por la norma ASTM D86 y la fracción de pesado se destila por la norma ASTM D1160.

3.3 Conversión de la Curva ASTM D86 y ASTM D1160 a TBP

En esta etapa se realiza la conversión curva de destilación ASTM a TBP y se representa en forma gráfica % vol de destilado en función de la Temperatura de Ebullición y API. Por último, se obtiene los rendimientos de fracciones del crudo mejorado. La Figura 1 muestra un esquema del procedimiento usado.

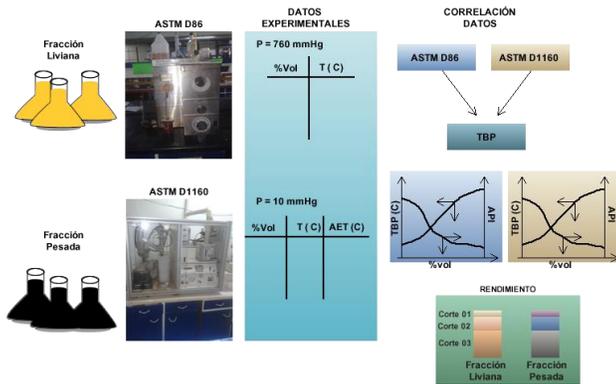


Figura 1. Diagrama de conversión de datos de destilación ASTM a TBP.

3. Resultados

4.1 Curva de Destilación del Crudo Pesado Pilón

En la Tabla 3 se muestra los datos experimentales de la Destilación ASTM D 1160. La presión fue de 5 mmHg y la AET es la temperatura equivalente a la presión de 760 mmHg. La conversión de la temperatura de presión reducida (5 mmHg) a la presión atmosférica (760 mmHg) se realiza por las Tablas que presenta la Norma ASTM D1160 o se puede realizar usando las siguientes ecuaciones (Presión de operación P > 2 mmHg):

$$AET = \frac{748,1 A}{\left[\frac{1}{(T + 273,1)} \right] + 0,3861A - 0,00051606} \quad (2)$$

$$A = \frac{5,994295 - 0,972546 \log_{10}(P)}{2663,129 - 95,76 \log_{10}(P)} \quad (3)$$

Donde, AET = Temperatura equivalente atmosférica, C
 T= Temperatura operación observada, C
 P= Presión de operación, mm Hg

La ecuación 4 se utiliza para correlacionar los datos experimentales. Los parámetros de AT y BT se obtienen por ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados. En la figura 2 se muestra la correlación con respecto a los datos experimentales.

$$\frac{T_i - T_0}{T_0} = \left[\frac{A_T}{B_T} \ln \left(\frac{1}{1 - x_i} \right) \right]^{\frac{1}{B_T}} \quad (4)$$

Donde T_i y T₀ son las temperaturas, x_i es la fracción de volumen de destilado, A_T y B_T son las constantes

Tabla 3. Datos recopilados de la Destilación ASTM D1160 para el Crudo Pesado Pilón.

% Vol	Presión	
	5 mmHg t/ °C	760 mmHg AET/ °C
0	51,06	182,8
5	95,85	240
10	116,63	266,1
15	133,18	286,7
20	143,61	299,6
25	164,97	325,8
30	177,96	341,6
35	192,69	359,4
38	197,76	365,5
43	201,76	370,3
48	215,99	387,3
53	238,03	413,4
58	257,82	436,6
60	262,45	442

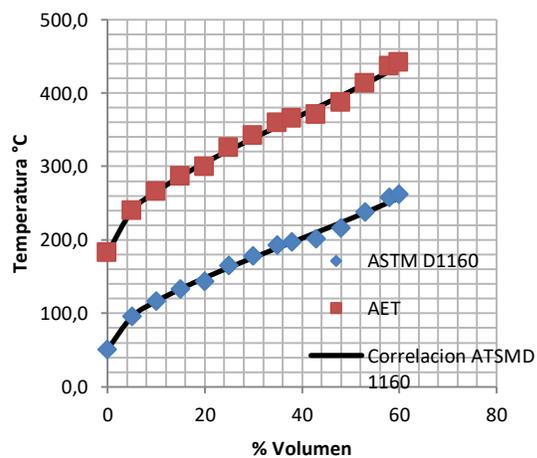


Figura 2. Correlación de datos experimentales por la ecuación 4

Por medio del ajuste lineal se obtuvo las constantes A_T y B_T como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Constantes A_T y B_T de la Ecuación 4

	A_T	B_T
ASTM D 1160	28,100	1,876
AET	3,973	1,927
R^2 (Ajuste Lineal)	0,9959	0,9961

A la vista del resultado podemos afirmar que el ajuste del modelo es bueno, ya que el valor de R^2 es cercano a 1, en concreto, el 99,59% y el 99,61% de la variabilidad de la Temperatura a su promedio es explicado por el modelo de regresión ajustado. Podemos concluir que el modelo linealizado es adecuado para describir la relación que existe entre estas variables.

A partir de estos parámetros constantes encontrados se obtiene una función de Temperatura con respecto a la fracción de destilados de forma siguiente:

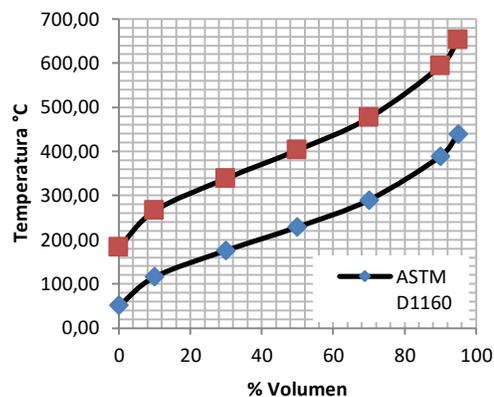
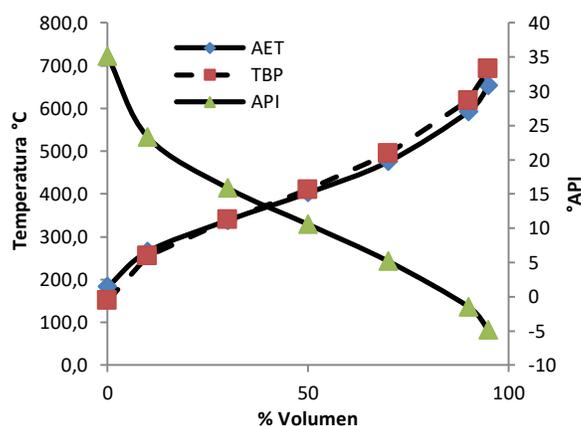
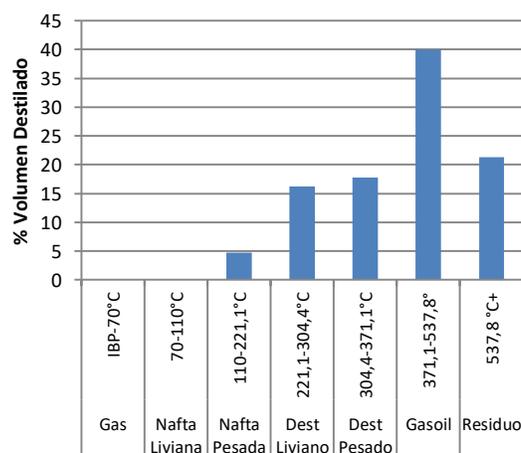
$$T_i = T_0 \left(1 + \left[\frac{A_T}{B_T} \ln \left(\frac{1}{1 - x_i} \right) \right]^{1/B_T} \right) \quad (5)$$

Se utiliza esta función para extender el % de volumen de destilado en el rango de 0 a 100%. En la Tabla 5 se muestra los valores y en la figura 3 se muestra el comportamiento de la función. Como puede verse estas gráficas deben tener una forma del tipo S.

A partir de esta extensión del rango 0 al 100% del volumen de destilado se procedió a realizar la conversión de AET a TBP. La Figura 4 muestra esta conversión observando que la curva TBP por debajo de 50% la temperatura de ebullición es más baja con respecto a la AET, mientras que, por encima de esta la curva TBP presenta una temperatura de ebullición más alta que la AET. Este hecho es tradicional en estas curvas cuando se comparan.

Tabla 5. Datos de la ASTM D1160 y AET extrapolada en 0 y 100 %

% Vol	t / °C	AET / °C
0	51,06	182,80
10	116,20	265,58
30	175,86	338,65
50	228,91	402,81
70	289,79	475,79
90	388,38	592,98
95	439,19	652,99

**Figura 3.** Curvas de Destilación ASTM D1160 (5 mmHg) y AET (760 mmHg).**Figura 4.** Curva de destilación AET, TBP y API en función del % de volumen**Figura 5.** Rendimiento del Crudo Pesado Pilón.

Obtenida la curva de destilación TBP se procede a calcular el rendimiento por fracciones del crudo pesado Pilón. La Figura 5 muestra el rendimiento obtenido para este crudo procesado. Dicha figura representa la base para comparar la formación o desaparición de algunas fracciones en el proceso de vapocraqueo.

4.2 Curvas de destilación de la Fracción Pesada

Arriba se detalló paso a paso el procedimiento de obtención las curvas de destilación TBP y rendimiento del mismo. Para este caso se presenta los resultados siguiendo estos pasos. En la Tabla 6 se muestra las constantes obtenidas por este procedimiento.

Tabla 6. Valores de las constantes A_T y B_T para cada caso

Cataliza dor	Ni/K		Fe/Mo		Fe/Mo/Mg	
	A_T	B_T	A_T	B_T	A_T	B_T
ASTM D1160	3,664	1,487	408,941	2,615	17,419	1,982
AET	1,331	1,519	16,289	2,727	3,110	2,042
TBP	2,945	1,747	45,542	2,785	9,217	2,045

En la Figura 6, 7 y 8 se muestran los resultados de la curva de destilación AET, TBP y API en función del % de volumen destilado. Se observa que la forma de las curvas de destilación es del tipo S. A partir de estas curvas se pueden calcular los rendimientos de las fracciones o cortes.

Por último, se puede apreciar la distribución de API para los diferentes cortes.

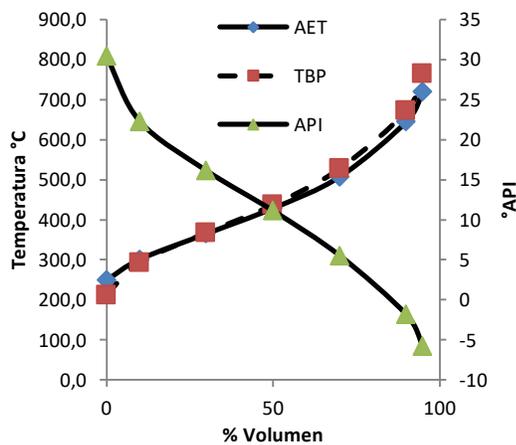


Figura 6. Curva de destilación AET, TBP y API en función del % de volumen para el catalizador Ni/K.

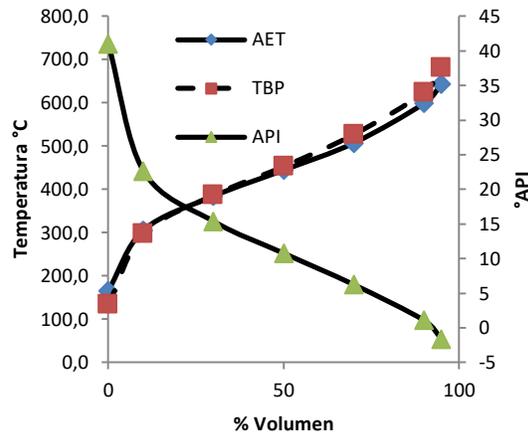


Figura 7. Curva de destilación AET, TBP y API en función % de destilado para el catalizador Fe/Mo.

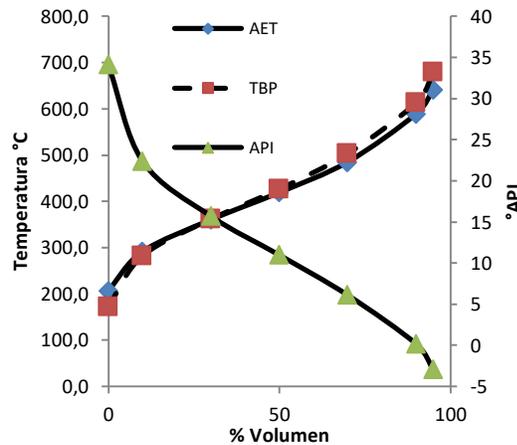


Figura 8. Curva de destilación AET, TBP y API en función % volumen de destilado para el catalizador Fe/Mo/Mg.

4.3 Rendimientos de la destilación

En las figuras 9 (a), (b) y (c) se muestra el rendimiento de la fracción pesada luego de ser vapocraqueado por los diferentes catalizadores. Por medio de estas figuras se puede observar las diferentes fracciones de corte que estén apareciendo o formándose. Además permite realizar cálculos con el balance materia que se lleva en las corridas para calcular la conversión de la fracción residuo. El valor obtenido de esta conversión permite tomar decisiones que catalizador sería el más efectivo para lograr una mayor formación de destilados y minimizar el residuo.

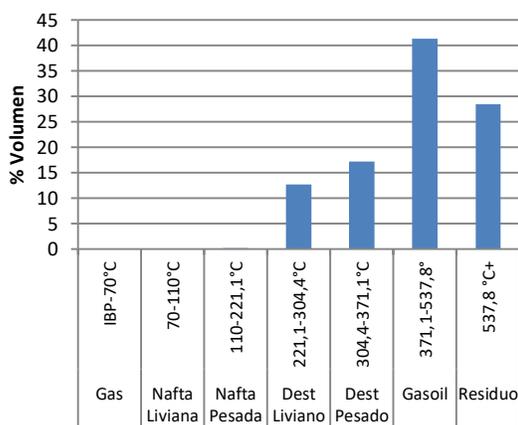


Figura 9 (a). Rendimiento de la fracción pesada para el catalizador Ni/K

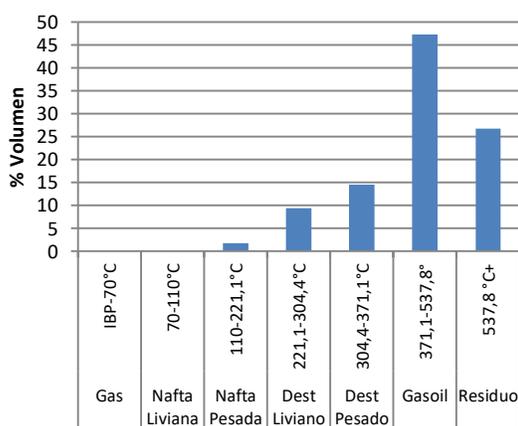


Figura 9 (b). Rendimiento de la fracción pesada para el catalizador Fe/Mo.

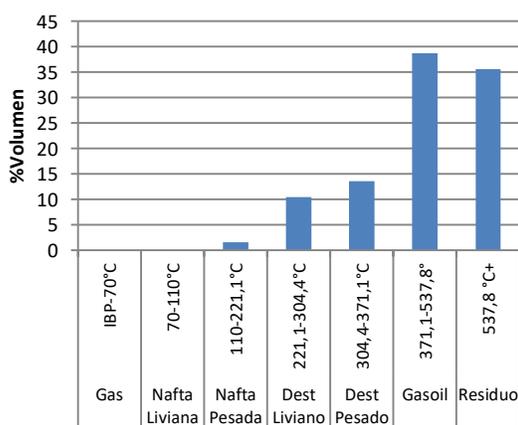


Figura 9 (c). Rendimiento de la fracción pesada para el catalizador Fe/Mo/Mg

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos de las curvas de destilación indican que las muestras de la fracción pesada son mezclas complejas de líquidos y su comportamiento es comparativo entre ellas. La ecuación 5 que representa el modelo de correlación se ajusta bien y presenta un R^2 cercano a 1 por tanto, se concluye que el modelo se ajusta adecuadamente para describir la relación que existe entre estas variables.

Las gráficas de las curvas de TBP presentaron un comportamiento como lo esperado en la literatura. Los rendimientos obtenidos a partir de estas curvas permitieron seleccionar el mejor catalizador.

El aumento de la fracción residuo con respecto al crudo original aumento, esto se mejora si se hace una mezcla con la fracción liviana y se destila para conocer la distribución real del rendimiento.

Un conocimiento de estas propiedades es necesario para el proceso de diseño, escalado y simulación, y es necesario llevar a cabo más investigación para mejorar los métodos y los resultados obtenidos.

Referencias

- American Petroleum Institute (API), 1993, Technical Data Book—Petroleum Refining. American Petroleum Institute, Washington, DC. p 167.
- American Petroleum Institute (API), 1997, Technical Data Book. American Petroleum Institute. Technical Data Book-Petroleum Refining.
- Bruno T, Ott L, Lovestead T, Huber M, 2010, The composition explicit distillation curve technique: Relating chemical analysis and physical properties of complex fluids, *Journal of Chromatography A* 1217, p. 2703-2715.
- Carbognani L, Méndez A, Sánchez V, 1999, Caracterización de Crudos Venezolanos. Orígenes, Razones y Necesidades. *Acta Científica Venezolana*, Vol. 50, Suplemento N0 1, 11-17 1999.
- Daubert T, 1994, Petroleum Fractions Distillation Interconversion. *Hydrocarbon Processing*, 9, p. 75.
- Fahim M, Al-Sahhaf T, Elkilani A, 2012, Fundamentals of petroleum refining, first ed., Elsevier. p. 33-67.
- Filho M, Batistella, C, Sbaite, P, Col., 2006, Evaluation of atmospheric and vacuum residues using molecular distillation and optimization, *Petroleum Science and Technology*, v. 24 (3-4), p. 275-283.
- González R, Ramírez J, Garmendia H, 2012, Vapocraqueo de Crudos Pesados usando Emulsiones Catalíticas Fe/Ni. Tesis de Pregrado. Universidad de Los Andes.
- Hoffman E, 1969, Relations between true boiling point and ASTM distillation curves. *Chemical Engineering Science*, Vol. 24, No 1, January, p. 113-117.

Ott L, Smith B, Bruno T, 2008, Advanced distillation curve measurement: Application to a bio-derived crude oil prepared from swine manure, Fuel 87, p. 3379-3387.

Riazi M, y Daubert T, 1980, Simplify property prediction. Hydrocarbon Proc. 3, p. 115–116.

Rodríguez J, Ramírez J, Garmendia H, 2007, Procesamiento de Crudos Pesados usando Catalizadores Líquidos. Tesis de Pregrado. Universidad de Los Andes.

Tarifa E, Erdmann E y col., 2008, Determinación de la curva de destilación flash para cortes de petróleo utilizando simuladores comerciales. Ing. Investigación. Vol. 28 No.1

Recibido: 05 de noviembre de 2019

Aceptado: 05 de marzo 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. Correo electrónico: labpetroleo2018@gmail.com