

## **EFFECTO DEL CONTENIDO DE AROMÁTICOS DEL RESIDUAL DE VACÍO MEREY SOBRE LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE COQUIZACIÓN RETARDADA**

*ANDREINA NAVA<sup>1</sup>, NARCISO PÉREZ<sup>1</sup>, ALEJANDRA MEZA<sup>2</sup> Y ARALUIS ZERPA<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Universidad Simón Bolívar. Laboratorio del Carbón y Residuales del Petróleo.

e-mails: andreinavag@gmail.com, naperez@usb.ve, araluis.zerpa@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad Central de Venezuela. Escuela de Ingeniería Química. e-mail: alejamezavila@hotmail.com

Recibido: marzo 2017

Aprobado para publicación: febrero 2018

### **RESUMEN**

Se evaluó el efecto del contenido de aromáticos sobre la calidad de los productos de coquización retardada. Para lograr este objetivo, se procesaron 5 mezclas con un contenido de las fracciones S.A.R.A. (saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos) controlado, provenientes de un residual de vacío del crudo venezolano denominado comercialmente "Merey". Las mezclas tienen un porcentaje de aromáticos de 40 a 60 %p, las cuales fueron procesadas en una unidad de coquización retardada a escala laboratorio y se caracterizaron fisicoquímicamente las mezclas y los productos líquidos condensables y coque (no destilados) obtenidos. Los resultados muestran que al aumentar el contenido de aromáticos, aumenta el porcentaje de materia volátil y disminuye el porcentaje de carbono fijo, cenizas y metales, por lo que es posible modificar las características de los productos obtenidos por medio de cambios en el contenido de las fracciones S.A.R.A. en la alimentación al proceso de coquización retardada. El contenido de metales en las mezclas preparadas, presentaron una disminución lineal con el aumento de los aromáticos con un  $R^2=0,9932$  para el níquel y  $R^2=0,9963$  para el vanadio, lo cual indica que las mezclas se prepararon de forma correcta. Se obtuvo un menor porcentaje de azufre para los productos destilados, con respecto a los obtenidos en los productos no destilados. Por último, se obtuvo un producto con mayor punto de ebullición para el destilado proveniente de la coquización del residual de vacío Merey en comparación a los destilados de las mezclas preparadas.

*Palabras Clave:* Coquización retardada, S.A.R.A., aromáticos, líquidos condensables, coque

## **EFFECT OF THE AROMATICS CONTENT OF MEREY VACUUM RESIDUE ON THE PRODUCTS QUALITY IN DELAYED COKING**

### **ABSTRACT**

The effect of the aromatic content upon the quality of the delayed coking products was evaluated. To achieve this objective, 5 controlled content mixtures of S.A.R.A. fractions (saturates, aromatics, resins and asphaltenes) previously separated from the Venezuelan "Merey" crude vacuum residue, were prepared. The mixtures had aromatic contents from 40 to 60 %w, and were processed in a laboratory scale delayed coking unit. Both, the feed as well as the obtained products, condensable liquids and coke (non-distillable), were physicochemically characterized. The results showed that as the content of aromatics increases, the percentage of volatile matter increases, whereas the percentage of fixed carbon, ash and metals decrease, so modify the products characteristics is possible through changes in the content of S.A.R.A. fractions in the feed to the delayed coking process. Metals contents in the mixtures prepared, showed a linear decrease with increase of aromatics with an  $R^2=0.9932$  for nickel and  $R^2=0.9963$  for vanadium, which indicates that mixtures were prepared correctly. Distilled products showed lower sulfur content than the non-distilled products. Finally, a product with a higher boiling point was obtained for distilled of Merey vacuum residue coking than the distillates of mixtures prepared.

*Keywords:* Delayed coking, S.A.R.A., aromatics, condensable liquids, coke

## INTRODUCCIÓN

La coquización retardada es el tratamiento térmico de crudos pesados y extrapesados más utilizado en Venezuela como proceso de conversión profunda de crudos para obtener productos de mayor valor comercial. Este proceso recibe como alimentación principal el residuo corto que proviene de la destilación al vacío para ser tratado térmicamente y en el que se ven involucradas fundamentalmente dos tipos de reacciones endotérmicas (Feintuch et al. 2004), unas de craqueo para obtener productos líquidos y gaseosos y, otras de polimerización-condensación donde se obtiene coque como producto sólido.

El objetivo general de este trabajo de investigación consistió en evaluar el efecto del contenido de aromáticos en la alimentación al proceso de coquización retardada, sobre la calidad de los productos líquidos condensables y coque, como una ampliación a las tendencias reportadas por Chen et al (2012), Meza et al (2016) y Meza et al (2018).

Para cumplir con el objetivo, se procesaron cinco mezclas de composición controlada de las fracciones S.A.R.A. (saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos), que permita evaluar el efecto del contenido de la fracción aromática en la alimentación con los parámetros de calidad de los productos obtenidos del proceso de coquización retardada. Dichas mezclas fueron preparadas previamente por Zerpa (2016), cuyas fracciones se obtuvieron a partir de un residual de vacío proveniente del crudo pesado Merey de 16 °API, del oriente de Venezuela. La coquización se llevó a cabo en una unidad de coquización retardada a escala laboratorio ubicada en el Laboratorio de Carbón y Residuales de Petróleo de la Universidad Simón Bolívar; las mezclas y los productos líquidos condensables así como el coque fueron caracterizados fisicoquímicamente.

Con este trabajo se pretende proponer mejoras al proceso de coquización retardada utilizando una muestra nacional, siendo este un estudio más exhaustivo respecto a anteriores (Meza et al. 2016) y (Meza et al. 2018), ya que se planteó evaluar diferentes mezclas donde cada una representa alimentaciones con diferentes contenido de aromáticos, permitiendo identificar las tendencias que existen entre el contenido de este tipo de hidrocarburos en la alimentación al proceso de coquización retardada y la calidad de los productos obtenidos, así como el diseño de dietas más adecuadas para este proceso según el objetivo principal de la unidad de coquización, ya sea maximizar la cantidad y calidad de destilados, u obtener coque de mejor calidad.

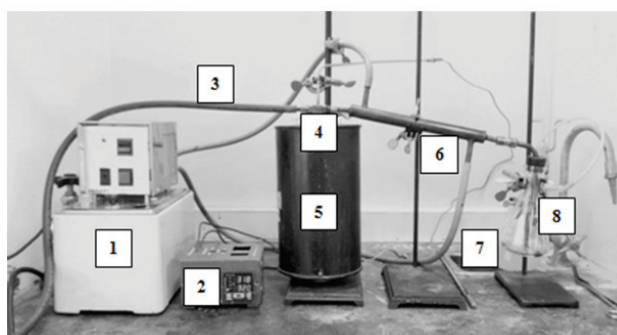
## METODOLOGÍA

### Preparación de las alimentaciones al proceso de coquización retardada

La preparación de las alimentaciones (mezclas) al proceso de coquización retardada fue realizada según la metodología presentada por Zerpa (2016), quien desarrolló previamente una separación de las fracciones S.A.R.A. del residual de vacío Merey para obtener las fracciones de hidrocarburos de dicho residual, con las cuales se prepararon las mezclas a alimentar en el proceso de coquización retardada variando los porcentajes en peso de cada una de las fracciones S.A.R.A., con una cantidad de aromáticos entre 40 y 60 %p (Tabla 2).

### Proceso de coquización retardada a escala laboratorio

El proceso de coquización retardada se llevó a cabo en una unidad de coquización retardada a escala laboratorio (Figura 1) ubicada en el Laboratorio de Carbón y Residuales de Petróleo de la Universidad Simón Bolívar, descrita en detalle por Salazar (2012).



**Figura 1.** Unidad de coquización retardada a escala laboratorio donde: 1. Bomba de recirculación, 2. Termorregulador, 3. Manguera para el Nitrógeno de arrastre 4. Reactor + conexión y termopar, 5. Horno, 6. Condensador, 7. Trampa de gases y 8. Sistema de recolección de condensados

Se utilizó un reactor vertical de 0,7 cm de diámetro y 12 cm de altura, el cual se ubica en el interior del horno conformando el área de reacción. Dado que este reactor tuvo dimensiones menores que el empleado en experimentos previos (Meza et al. 2016), se realizaron pruebas iniciales de coquización retardada del residual de vacío Merey, para garantizar la estabilidad de las condiciones de operación utilizadas.

Las condiciones de operación establecidas con el nuevo reactor y la nueva carga (2 g) fueron: temperatura 650 °C, tiempo de reacción 60 min, rampa de calentamiento 5 °C/min y 150 ml/min de nitrógeno como gas de arrastre. Estas condiciones operacionales permanecieron fijas para el tratamiento térmico de cada una de las mezclas; la puesta en marcha de la unidad de coquización retardada se realizó según los pasos expuestos por Da Fonseca et al (2014).

### Caracterización de la alimentación y los productos de coquización retardada

Se realizó la caracterización fisicoquímica de: El residual de vacío Merey (RV), las mezclas preparadas como alimentación al proceso de coquización retardada (M), así como sus productos líquidos condensables o destilados (D) y coque o no condensables (ND). Para ello se llevaron a cabo diferentes tipos de ensayos y métodos, los cuales se presentan en la Tabla 1; todas las muestras analizadas fueron tomadas a temperatura ambiente y el número que se indica para cada ensayo, corresponde a la cantidad de muestras analizadas por cada técnica, siguiendo los requerimientos indicados en la norma para garantizar la reproducibilidad y repetitividad de los resultados.

**Tabla 1.** Caracterización de la alimentación y los productos de coquización retardada

Método o Ensayo	RV	M	D	ND
Termogravimetría ASTM E1641 (ASTM, 2004)	1	5		
Análisis Inmediato ASTM D5142 (ASTM, 2010)	1	5		
Análisis Elemental COVENIN 2596-89 (COVENIN, 1989) (para C) ASTM D4239-05 (ASTM, 2005) (para S)	1	2	2	2
Metales EPA-6010 (EPA, 2007)	1	5		
Destilación Simulada ASTM D2887-16 (ASTM, 2016)			3	

A continuación se presentan los detalles de los análisis realizados:

**Termogravimetría:** el equipo utilizado fue una balanza marca TA Instrument, modelo SDTQ600, la cual opera hasta una temperatura de 1500 °C, ubicada en el Laboratorio de Tratamientos Térmicos, Químicos y Físicos de Materiales

Carbonosos de PDVSA INTEVEP. El análisis se realizó por triplicado para cada muestra analizada.

**Análisis Inmediato:** se realizó mediante el analizador termogravimétrico SDTQ600 y comprende la determinación de: humedad, materia volátil, carbono fijo y cenizas. A partir de los termogramas obtenidos, se determinó el porcentaje de humedad hasta 100 °C, el porcentaje de materia volátil se tomó desde 100 hasta 650 °C (temperatura a la cual se llevó a cabo la coquización retardada), el porcentaje de cenizas se determinó a 900 °C y el carbono fijo como la diferencia entre 100% menos el porcentaje de humedad, materia volátil y cenizas, los cuales están reportados como porcentajes en peso. El análisis se realizó por triplicado para cada muestra analizada por medio del análisis termogravimétrico.

**Análisis Elemental:** El equipo utilizado fue un LECO CS600 para la determinación del contenido de carbono y azufre, en el Laboratorio de Conversión Catalítica ubicado de PDVSA INTEVEP. El análisis se realizó por triplicado para cada muestra analizada.

**Metales:** se realizó mediante el método por digestión ácida para determinar el contenido de níquel (Ni) y vanadio (V), empleando un espectrómetro de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), marca GBC, modelo Integra XL, en el Laboratorio de Desechos Tóxicos de la Universidad Simón Bolívar. El análisis se realizó por triplicado para cada muestra analizada.

**Destilación Simulada:** El equipo utilizado fue un cromatógrafo de gases, marca Agilent Technologies, modelo 6890N, con inyector Agilent Technologies, modelo 7683B, en el Laboratorio de Destilación Simulada ubicado en PDVSA INTEVEP.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Preparación de las alimentaciones al proceso de coquización retardada

Se prepararon mezclas de composición controlada a partir de las fracciones obtenidas por Zerpa (2016), al realizar la separación a mayor escala del residual de vacío Merey. Como criterio de diseño, se mantuvo una relación constante entre el contenido de resinas y asfaltenos para las mezclas con un contenido entre el 10 a 22 %p de estas fracciones, a excepción de la mezcla con mayor contenido de aromáticos (60 %p) en la cual no fue posible ajustar la relación de contenido de resinas y asfaltenos, ya que cualquier otro arreglo entre las fracciones disponibles hacía que disminuyera el contenido de aromáticos a un porcentaje

menor a 60 %p. El contenido de las fracciones saturados (Sat), aromáticos (Arom), resinas (Res) y asfaltenos (Asf) en cada una de las mezclas preparadas se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Mezclas preparadas para el proceso de coquización retardada (Zerpa, 2016)

Muestra	Sat (± 1)* (%p)	Arom (± 2)* (%p)	Res (± 3)* (%p)	Asf (± 0,1)* (%p)
A40	16	40	22	22,0
A45	19	45	18	18,0
A50	22	50	14	14,0
A55	24	55	10	10,0
A60	26	60	10	5,0

\* El error fue determinado como el promedio de las desviaciones estándar obtenidas para cada grupo S.A.R.A. de las fracciones utilizadas en la preparación de las mezclas.

### Proceso de coquización retardada a escala laboratorio

Una vez preparadas las mezclas, las mismas se sometieron al proceso de coquización retardada a escala laboratorio. Los productos obtenidos se dividieron en productos no condensables, destilado (líquidos condensables) y los no destilados que corresponden al producto que quedó en el reactor al finalizar el tiempo de reacción. Éste último producto no se denominó “coque”, debido a que sólo en el caso de la muestra con 50% de aromáticos y para el residual de vacío Merey se observó un coque sólido, a diferencia de las demás mezclas para las cuales se obtuvieron breas (Zerpa, 2016). Los rendimientos obtenidos de la coquización retardada a escala laboratorio, oscilaron entre 43 y 55 %p para los no condensables, entre 24 y 49 %p para los destilados y entre 8 y 22 %p para los no destilados (Zerpa, 2016).

### Caracterización de la alimentación y los productos de coquización retardada

El análisis termogravimétrico realizado a las mezclas preparadas y al residual de vacío Merey se presenta en (Zerpa, 2016); a partir de las curvas obtenidas en este análisis, se estimó el análisis inmediato (Tabla 3) como se indica en la sección de metodología (Nava, 2017). Para el análisis inmediato se presentan los resultados de humedad (Hum), materia volátil (Mat. V), carbono fijo (CF) y cenizas (Cen).

En los resultados de la Tabla 3 se puede observar un bajo contenido de humedad (menor a 0,06%p) y un alto contenido de materia volátil que aumenta directamente con

el contenido de aromáticos, entre 84,41%p para el residual de vacío Merey que tiene el menor contenido de aromáticos (23,32%p) (Zerpa, 2016) y 96,26%p para la mezcla con mayor proporción de aromáticos (60%p). Para el caso del carbono fijo y las cenizas, estos valores representan la formación de coque a partir del residual de vacío y las mezclas (Guo et al. 2008), los cuales disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de aromáticos, entre 15,58 hasta 3,74%p. Un análisis de la variación del contenido de cenizas en las diferentes mezclas, no reporta ninguna tendencia clara, lo cual indica que no existe relación entre el contenido de aromáticos y las cenizas.

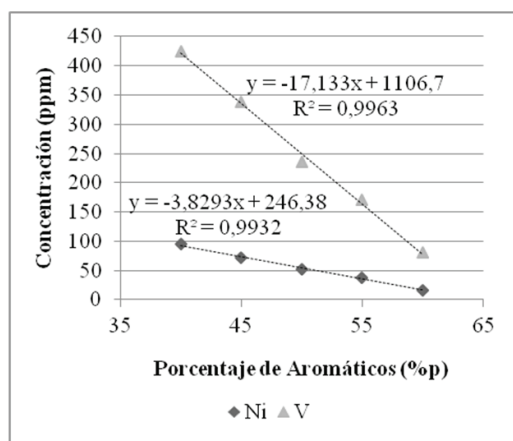
La formación de coque está determinada por la aromaticidad y peso molecular de las fracciones involucradas (Guo et al. 2008), por lo tanto, al tener un mayor contenido de aromáticos y menor contenido de asfaltenos, se logra inhibir la formación de coque y se contribuye a la formación de materia volátil. Este resultado coincide con lo propuesto por (Fugador, 2009; Guo et al. 2008), que indican que la fracción determinante para obtener un mayor rendimiento de coque es el contenido de asfaltenos.

**Tabla 3.** Análisis inmediato del residual de vacío Merey y las mezclas preparadas

	Hum (±0,0001) (%p)	Mat. V (±0,0001) (%p)	C Fijo (±0,0001) (%p)	Cen (±0,0001) (%p)
RV	0,0100	84,4100	15,5500	0,0300
A40	0,0626	86,1969	13,7405	0,0000
A45	0,0246	87,5096	10,9222	1,5437
A50	0,0000	89,8545	8,4951	1,6504
A55	0,0000	92,9555	4,5790	2,4654
A60	0,0033	96,2605	3,7362	0,0000

A las mezclas también se les determinó el contenido de metales (Ni y V), el cual se representó gráficamente en función del porcentaje de aromáticos. En la Figura 2 se puede observar que para las mezclas con mayor porcentaje de aromáticos, el contenido de metales disminuye linealmente con un  $R^2=0,9932$  para el níquel y  $R^2=0,9963$  para el vanadio, representando un ajuste aceptable. Estos resultados corresponden con lo establecido por Liu et al (2015) y Delgado (2006), ya que la distribución de vanadio y níquel en fracciones de hidrocarburos y su variación en procesos térmicos, indica que estos metales se concentran en las resinas y mayormente en los asfaltenos, cuyo contenido disminuye en las mezclas preparadas, a medida que aumenta el contenido de aromáticos. Esto corrobora que las mezclas se prepararon de forma correcta. A partir de lo reportado por (Zerpa, 2016), se deben obtener coques

con un menor contenido de metales a medida que aumenta la composición de aromáticos en la alimentación (Nava, 2017).



**Figura 2.** Contenido de metales en las mezclas preparadas

También se calculó por balance de masa el contenido de metales en los productos denominados “no destilados” (ND) de las muestras A45, A55 y el residual de vacío Merey (RV), suponiendo que todo el contenido de metales presente en las mezclas permanece en el producto no destilado por tratarse de metales pesados que deberían concentrarse únicamente en esta fracción (Da Fonseca et al, 2014).

En la Tabla 4 se presentan los resultados tanto para el residual de vacío y las mezclas A45 y A55, como para los no destilados (ND RV, ND A45 y ND A55), en la cual se observa que la concentración de metales presentes en los productos no destilados incrementa significativamente respecto a la concentración en las mezclas.

**Tabla 4.** Contenido de metales en el residual de vacío, las mezclas A45, A55 y sus productos no destilados

Muestra	Ni ± error (ppm)	V ± error (ppm)
RV	103,26 ± 4,15	472,54 ± 15,77
A45	72,50 ± 3,42	337,89 ± 12,10
A55	38,47 ± 1,60	170,49 ± 5,70
ND RV	483,66 ± 33,30	2208,60 ± 95,40
ND A45	420,28 ± 28,14	1958,80 ± 83,60
ND A55	325,21 ± 20,68	1441,17 ± 59,65

Adicionalmente, se muestra en la Tabla 5, el análisis elemental (C y S) a las mezclas A50 y A60, sus destilados (D) y productos no destilados (ND). Se puede observar un resultado bastante similar para el contenido de carbono de las mezclas A50 y A60 y el de los productos destilados y no destilados obtenidos de dichas mezclas. A partir de dichos resultados, no se puede concluir sobre una tendencia existente entre el contenido de carbono y el de aromáticos

en las mezclas alimentadas al proceso de coquización retardada y, tampoco se observa una tendencia clara entre el contenido de carbono en las mezclas y en los productos. En estos casos, el cálculo de relaciones atómicas C/H y S/C resulta más útil para hacer un análisis preliminar del grado de condensación de las muestras analizadas (Requena, 2007).

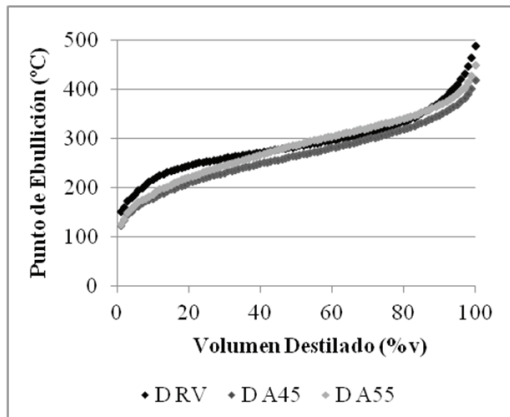
**Tabla 5.** Análisis elemental a las mezclas A50 y A60 y sus productos de la coquización

Muestra	C ± error (%p)	S ± error (%p)	S/C (Adim)
A50	84,3800 ± 1,6538	3,6200 ± 0,4945	0,0429
A60	85,3000 ± 1,6719	3,7100 ± 0,5068	0,0435
D A50	84,9100 ± 1,6642	1,9800 ± 0,2705	0,0233
D A60	84,4300 ± 1,6548	1,8800 ± 0,2568	0,0223
ND A50	86,3000 ± 1,6915	4,1500 ± 0,5669	0,0481
ND A60	85,3350 ± 1,6726	4,3300 ± 0,5915	0,0507

Del contenido de azufre en las mezclas y en los productos obtenidos, se observa una menor proporción de este compuesto para los productos destilados y un mayor contenido de azufre para los no destilados. Además, al analizar la relación S/C, se observa que dicha relación también disminuye para los productos destilados y aumenta para los no destilados cuando se compara con la relación obtenida para las mezclas correspondientes. Este resultado indica que el grado de carbonos sustituidos por heteroátomos en los productos no destilados es mayor que el de los productos líquidos condensables, presentando una participación importante del azufre dentro de la estructura química de este producto, lo cual coincide con lo esperado, ya que el producto no destilado es el que concentra las fracciones más pesadas, las cuales tienen un mayor contenido de heteroátomos como el azufre. Sin embargo, es recomendable determinar el contenido de hidrógeno en dichas muestras para analizar la relación C/H y así verificar el grado de condensación para cada una de las muestras.

Ahora bien, en la Figura 3 se presentan las curvas de la destilación simulada de los productos líquidos obtenidos a partir de la coquización retardada del residual de vacío Merey y las mezclas A45 y A55, mientras que en la Tabla 6 se presentan parte de los datos de dichas curvas, en la cual se pueden identificar los puntos de ebullición según el volumen de producto destilado. Con estos resultados, se realizó una comparación entre el punto de corte resultante

de las coquización de las alimentaciones preparadas, en comparación con el destilado de la coquización del residual de vacío Merrey.



**Figura 3.** Curvas de destilación para los destilados de la coquización del residual de vacío y las mezclas A45 y A55

**Tabla 6.** Puntos de ebullición para los destilados de la coquización del residual de vacío y las mezclas A45 y A55

% Destilado	D RV (±0,1) (°C)	D A45 (±0,1) (°C)	D A55 (±0,1) (°C)
IBP	150,1	122,7	124,9
5	194,4	162,6	169,2
25	253,4	221,4	235,2
50	284,7	265,5	287,6
75	322,5	308,8	331,5
95	420,0	374,1	395,5
FBP	505,2	433,5	468,6

La destilación simulada del producto destilado de la coquización del residual original, muestra que a 253,4 °C destiló el 25 %v, a 284,7 °C destiló el 50 %v y a 420,0 °C el 95 %v. Por otro lado, para la destilación simulada de los productos líquidos obtenidos de la coquización retardada de la mezcla A45, el 25 %v corresponde a 221,4 °C, el 50 %v a 265,5°C y el 95 %v a 374,1°C, mientras que para los líquidos de la coquización de la mezcla A55, el 25 %v destila 235,2, el 50 %v destila a 287,6°C y el 95 %v a 395,5°C.

Esto indica que la coquización del residual de vacío Merrey y de las mezclas analizadas con 45 y 55 %p de aromáticos, generaron productos líquidos correspondiente en su mayoría al intervalo de ebullición del querosén (205 - 260 °C), gasóleo liviano (260 - 315 °C) y gasóleo pesado (315 - 425 °C), así como también puede haber presencia de componentes correspondientes a gasóleos de vacío (425 -

600 °C) por obtenerse un punto final de ebullición dentro de dicho rango de temperatura en los tres destilados analizados (Speight et al. 2002).

De esta manera, al comparar las temperaturas de ebullición de las muestras de destilado estudiadas en función del volumen destilado, se obtuvo un producto más pesado en el caso del destilado proveniente del residual de vacío Merrey, por presentar puntos de ebullición mayores; al comparar los destilados de las mezclas ricas en aromáticos, el destilado de la mezcla coquizada con menor contenido de esta fracción (45 %p) presentó puntos de ebullición menores que en el destilado de la mezcla coquizada con 55 %p de aromáticos (Nava, 2017).

La tendencia obtenida por destilación simulada, no corresponde con lo que se esperaría, debido a que mientras mayor es el contenido de aromáticos, se podría pensar en destilados mas livianos (Xu et al. 2005; Zerpa, 2016). Sin embargo, estos resultados pueden ser producto de la interacción y arreglo que tengan los aromáticos y las demás fracciones presentes en la mezclas alimentadas al proceso de coquización retardada, lo cual puede influir en las reacciones de craqueo y polimerización-condensación que se llevan a cabo dentro del reactor de coquización, generando un producto destilado más pesado para el caso de la mezcla con mayor contenido de aromáticos. No obstante, en ambos casos se obtuvieron destilados con puntos de ebullición más bajos respecto al destilado de la coquización del residual de vacío Merrey.

## CONCLUSIONES

El estudio realizado permitió demostrar que a medida que aumenta el contenido de aromáticos y se mantenga constante la relación en el contenido del resto de las fracciones, aumenta la cantidad de materia volátil y disminuye el porcentaje de carbono fijo, cenizas y metales en el residual de vacío, por lo que es posible modificar las características de los productos obtenidos por medio de cambios en el contenido de las fracciones S.A.R.A. en la alimentación al proceso de coquización retardada.

Cambios en el contenido de aromáticos presentes en la alimentación a la coquización retardada, trae como consecuencia cambios en las propiedades de los productos destilados y no destilados, específicamente en cuanto al contenido de azufre, metales y punto de ebullición de los destilados.

Se recomienda determinar el contenido de hidrógeno en las mezclas y productos obtenidos para establecer la

relación C/H, con lo cual se lograría verificar el grado de condensación de la alimentación, y con ello establecer correlaciones con los productos obtenidos.

Para futuros trabajos de investigación en esta área, se recomienda preparar una mezcla a partir de las fracciones S.A.R.A, con una composición igual a la del residual original, con la finalidad de comparar los resultados de ambas alimentaciones al proceso de coquización retardada y demostrar que las mezclas se comportan como los residuales de vacío frente a este tipo de tratamiento térmico.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a PDVSA INTEVEP por el suministro del residual de vacío objeto de estudio y por la realización del análisis termogravimétrico, análisis elemental y destilación simulada del residual de vacío, las mezclas preparadas y los productos obtenidos de la coquización retardada.

## REFERENCIAS

ASTM INTERNATIONAL (2004). ASTM E1641. Standard test method for decomposition kinetics by Thermogravimetry.

ASTM INTERNATIONAL (2005). ASTM D4239-05. Standard test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High Temperature Tube Furnace Combustion Methods.

ASTM INTERNATIONAL (2010). ASTM D5142. Standard test methods for proximate analysis of the analysis sample of coal and coke by instrumental procedures.

ASTM INTERNATIONAL (2016). ASTM D2887-16. Standard test method for boiling range distribution of petroleum fractions by gas chromatography.

CHEN, K., LIU, H., GUO, A., GE, W., Y WANG, Z. (2012). Study of the thermal performance and interaction of petroleum residue fractions during the coking process. *Energy Fuels*, 26 (10), pp. 6343-6351.

DA FONSECA, A., Y RUÍZ, E. (2014). *Evaluación del Efecto del Tipo de Alimentación sobre el Rendimiento y la Calidad de los Productos de la Coquización Retardada*. Trabajo de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

DELGADO, J. (2006). *Asfaltenos: Composición, Agregación, Precipitación*. Cuaderno FIRP S369-A. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

EPA-6010 METHOD (2007). Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.

FUGADOR, N. (2009). *Correlación entre las Propiedades Fisicoquímicas de Crudos y su Rendimiento en Coquización*. Trabajo de Grado, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.

GUO, A., ZHANG, X., Y WANG, Z. (2008). Simulated delayed coking characteristics of petroleum residues and fractions by thermogravimetry. *Fuel processing and technology*, 89, pp. 643-650.

FEINTUCH, H., NEGIN, K. (2004). *"FW delayed-Coking Process"*. *Handbook of Petroleum Refining Processes*. McGraw-Hill, USA.

LIU, H., WANG, Z., GUO, A., LIN, C., Y CHEN, K. (2015). The distribution of Ni and V in resin and asphaltene subfractions and its variation during thermal processes. *Petroleum Science and Technology*, 33, pp. 203-210.

MEZA, A., DA FONSECA, A., RUIZ, E., PÉREZ, N., Y RINCÓN, G. (2016). Efecto de la distribución de hidrocarburos SARA sobre las propiedades de residuales de vacío. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XVII (4), pp. 435-441.

MEZA, A., RUIZ, E., DA FONSECA, A., PÉREZ, N., Y RINCÓN, G. (2018). Efecto del tipo de crudo alimentado sobre el rendimiento y calidad de los productos de la coquización retardada a partir de residuos de vacío venezolanos. *Rev. LatinAm. Metal. Mat*, 38 (1), aceptado para publicación.

NAVA, A. (2017). *Efecto de la Composición SARA del Residual Merey en las Características de los Productos de Coquización Retardada*. Trabajo de Grado, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.

NORMA VENEZOLANA COVENIN (1989). COVENIN 2596-89. Carbón y coque. Determinación del contenido de carbono e hidrógeno.

REQUENA, A. (2007). *Formación de Mesofase en Crudos Pesados y sus Residuales*. Trabajo de Ascenso, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.

- SALAZAR, S. (2012). *Estudio del Proceso de Coquización Retardada a Escala de Laboratorio*. Trabajo de Grado, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.
- SPEIGHT, J., Y ÖZUM, B. (2002). *Petroleum Refining Processes*. New York: Marcel Dekker.
- XU, C., GAO, J., ZHAO, S., Y LIN, S. (2005). Correlation between feedstock SARA components and FCC product yields. *Fuel*, 84 , pp. 669–674.
- ZERPA, A. (2016). *Efecto del Contenido de Aromáticos en la Alimentación al Coquizador Retardado sobre las Características y Rendimiento de los Productos*. Trabajo de Grado, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.