

PROCESAMIENTO DE LOS CRUDOS PESADOS

José Iraides BELANDRIA
Escuela de Ingeniería Química
Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

RESUMEN

Se presenta un análisis de las investigaciones realizadas a escala de laboratorio en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Los Andes en torno al procesamiento de los crudos pesados nacionales.

Los crudos pesados se han sometido a las siguientes secuencias de procesamiento: 1. Deshidratación-hidrodesmetalización-hidrodesulfuración-destilación al vacío-hidrocrqueo, 2. Deshidratación-destilación al vacío-hidrocrqueo. 3. Hidroconversión directa, 4. Craqueo en presencia de agua.

Los resultados muestran que los crudos pesados son procesables y se puede obtener a partir de ellos una variedad de productos como gases, gasolinas, kerosene, fueloleos, gasoleos, asfalto y coque. La cantidad y calidad de los productos depende del tipo de procesamiento.

ABSTRACT

Heavy oil processing. This is an analysis about the research carried out in the Chemical Engineering School of the University of the Andes in relation to heavy oil processing.

Heavy oils from the Orinoco Belt have been processed by following routes:

1. Dehydration-hydrodesmetalization-hydrodesulfurization-destillation vacuum-hydrocracking.
2. Dehydration-Vacuum distillation-hydrocracking.
3. Direct hydroconversion.
4. Catalytic water craking.

The experimental results show that heavy oils can be processed and transformed in gasses, gasolines, kerosene, gas-oils, fueloils, asphalt, and coke. The quantity and quality of the products depends on the processing scheme.

INTRODUCCION

El potencial petrolero de Venezuela en el área de los crudos pesados es capaz de permitir según las limitaciones tecnológicas actuales la independencia energética del país y la comercialización e industrialización del crudo hasta más allá de las primeras centurias del año 2000.

Estos crudos sin embargo, son difíciles de extraer, transportar y procesar, y la tecnología para estos procesos no está completamente desarrollada y en la mayoría de los casos se encuentra a nivel de planta piloto. Solamente algunas compañías multinacionales poseen desarrollos a escala comercial factibles de aplicarse a los crudos pesados nacionales pero a un alto costo económico y a un alto grado de dependencia tecnológica.

Esta situación y la tendencia progresiva al agotamiento de las reservas de los crudos livianos y medianos señala la necesidad de desarrollar tecnologías alternativas para la extracción, transporte y procesamiento de los crudos pesados. En este sentido algunas instituciones y universidades del país como INTEVEP, IVIC, ULA, UCV, UDO, LUZ y USB han emprendido un esfuerzo investigativo en la problemática de los crudos pesados.

Bajo este punto de vista, en el laboratorio de petróleo y Catálisis Aplicada de la Escuela de Ingeniería Química de la U.L.A. se ha realizado un conjunto de investigaciones en la búsqueda de alternativas para el procesamiento de los crudos pesados nacionales cuya estructura molecular impone exigencias especiales de diseño y construcción. De acuerdo a lo anterior los objetivos del presente trabajo son:

1. Evaluar las investigaciones realizadas en el Laboratorio de Petróleo y Catálisis Aplicada de la U.L.A. en relación al procesamiento de los crudos pesados. Determinar el rendimiento de los esquemas propuestos.

2. Estudiar las diferentes etapas involucradas en los esquemas de procesamiento como la deshidratación, destilación al vacío, hidrodeshidratación, hidrodeshidratación e hidrocraqueo. Analizar el efecto de la presión, temperatura y concentración de reaccionantes y catalizadores.

3. Estudiar los aspectos físicoquímicos más relevantes del procesamiento y proponer modelos cinéticos simples.

4. Evaluar la velocidad global, la energía de activación global y el factor limitante de las etapas involucradas en el procesamiento del crudo.

FUNDAMENTOS TEORICOS

En general los crudos pesados son hidrocarburos constituidos por estructuras polinucleadas complejas que poseen una baja relación hidrógeno/carbón, una baja densidad °API y una alta viscosidad. Los crudos pesados nacionales también poseen azufre, nitrógeno, oxígeno, agua, arena, barro, etc. En la Figura 1 se diagrama una macromolécula hipotética de un crudo pesado.

Las tecnologías propuestas para el procesamiento de los crudos pesados están basadas en procesos de craqueo catalítico con o sin hidrógeno, procesos de craqueo térmico con o sin hidrógeno y procesos de separación física. Los procesos catalíticos en presencia de hidrógeno aumentan la relación H/C de los productos por la adición de hidrógeno. En los procesos térmicos sin hidrógeno la relación H/C se aumenta descarbonizando el crudo. Algo similar ocurre con los procesos de separación física como los métodos de extracción con solventes.

En general los procesos basados en tecnologías de adición de hidrógeno son más costosos, más flexibles y dan una mayor conversión a productos líquidos de buena calidad que los procesos basados en técnicas de craqueo térmico o coquificación. En el mismo sentido desde el punto de vista ambiental los procesos de coquificación causan un mayor impacto ecológico que los de adición de hidrógeno.

Muchos esquemas de procesamiento combinan técnicas de diferentes tipos dependiendo de las exigencias del procesamiento.

Los procesos propuestos para el mejoramiento de los crudos pesados y sus residuos están en su mayor parte a nivel de escala de laboratorio y piloto y sólo algunas compañías multinacionales han logrado desarrollar procesos a escala de planta semi-industrial. Algunos procesos potencialmente aplicables entre otros son los siguientes HDM-INTEVEP <17>, KOMBI CRACKING <16>, H-OIL <20>, LC-FIN ING <35>, SHELL <36>, IFP <4>, ADRABON <20>, EUREKA <20>, FLEXICOK ING <11>, COQUIFICACION RETARDADA <8>, L-R COKER <18>, UCV-INTEVEP <31>, DYNACRACKING <20>, CANMET <20>, FLUID COKING <14>, FCC <24>, DSV <16>, UNICRACKING <32>, RESID FINING <29>, GULF HDS <13>, VISBREAKING <38>, HYDROVISBREAKING <15>, CHIYODA <7>, y CHEVRON <6>.

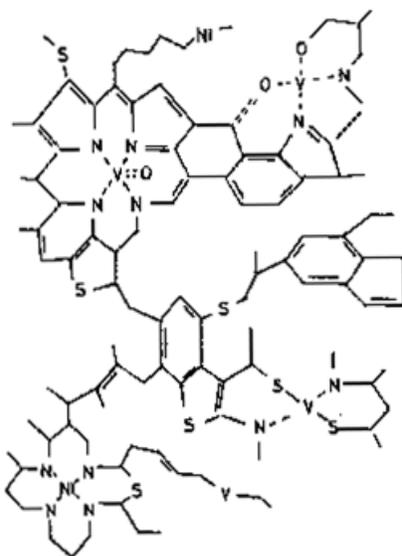


FIG.1.-MICROMOLECULA HIPOTETICA DE CRUDO PESADO

EXPERIMENTAL

En el Laboratorio de Petróleo y Catálisis Aplicada de la U.L.A. se ha investigado a nivel experimental y a escala de laboratorio esquemas de procesamiento para los crudos pesados y sus residuos. El interés se ha concentrado en obtener información sobre procesos que utilicen catalizadores nacionales baratos y equipos que puedan diseñarse y construirse en su mayor parte en el laboratorio y en el país. En esta búsqueda los crudos pesados y sus residuos han sido sometidos en el laboratorio a las siguientes secuencias de procesamiento:

1. Procesamiento del crudo mediante la secuencia Deshidratación-hidrodesmetalización-hidrodesulfuración-destilación al vacío-hidrocrqueo catalítico.
2. Procesamiento según la secuencia Deshidratación-destilación al vacío-hidrocrqueo catalítico.
3. Procesamiento según Hidroconversión catilítica directa del crudo.
4. Procesamiento según craqueo catalítico del crudo en presencia de vapor de agua.

Para lograr obtener la información experimental sobre los esquemas de procesamiento anteriores, ha sido necesario diseñar experimentos y observar el comportamiento de las variables del sistema bajo restricciones experimentales específicas.

Los equipos utilizados poseen los accesorios necesarios para seguir la evolución del proceso en el tiempo y evaluar el efecto de las variables presión, temperatura y concentración de reaccionantes, catalizadores o fracciones. La temperatura se mide utilizando termocuplas y se controla utilizando un regulador automático. La presión se mide con un manómetro incorporado al equipo. La concentración se mide en función del tiempo mediante métodos espectrofotométricos o analíticos. La presión y el flujo de hidrógeno se mide con un manómetro y un rotámetro respectivamente. Otros instrumentos adicionales usados son balanza, cronómetros, densímetros, viscosímetros, refractómetros, pH metro, muflas, material de vidrio, etc., <1>, <5>, <9>, <12>, <19>, <21>, <22>, <23>, <25>, <26>, <27>, <28>, <30>, <33>, <34>, <37> y <39>.

Los materiales principales usados son crudos pesados de la Faja del Orinoco, hidrógeno y catalizadores preparados en el Laboratorio. El crudo usado fue el Hamaca 2X de 9.2°API, 480 ppm de Vanadio, 3.6% de azufre y 120000 Cps (25°C).

ANALISIS Y DISCUSION SOBRE LOS ESQUEMAS DE PROCESAMIENTO ESTUDIADOS EN EL LABORATORIO DE PETROLEO Y CATALISIS APLICADA DE LA U.L.A.

A. Comparación de los Procesos.

Los crudos pesados se han sometido a los siguientes tipos de procesamiento:

1. Procesamiento según la secuencia: Deshidratación, hidrodemetalización-hidrodesulfuración-destilación al vacío-hidrocraqueo.
2. Procesamiento según la secuencia: Deshidratación-destilación al vacío-hidrocraqueo.
3. Procesamiento según Hidroconversión catalítica directa del crudo.

4. Procesamiento según Conversión catalítica directa en presencia de vapor de agua.

Las características principales de los procesos anteriores se muestran en la Tabla 1. Los datos se encuentran en las referencias <12>, <21>, <28>, <30>, <33>, <34>, <37> y <39>.

Aún cuando la comparación de los procesos es limitada por no disponer de un estudio económico y técnico completo, es posible, sin embargo, analizarlos en un sentido general.

Los procesos anteriores IV-1, IV.2 y IV.3 se pueden considerar como procesos de hidroconversión catalítica en los cuales el crudo pesado y/o sus residuos interaccionan con hidrógeno en presencia de catalizadores específicos a diferentes condiciones de operación. En cambio el proceso descrito en la sección IV-4 consiste en interaccionar el crudo pesado y/o sus residuos con agua y catalizadores bajo condiciones experimentales específicas; esta modalidad de procesamiento se puede visualizar como un proceso de conversión catalítica directa en presencia de agua.

En la Tabla 1 se observa que el proceso de hidroconversión que produce líquidos de mejor calidad es el de la secuencia deshidratación-hidrodesmetalización-hidrodesulfuración-destilación al vacío-hidrocraqueo. Esta modalidad de procesamiento necesita 5 unidades y exige un alto consumo de hidrógeno y un tiempo de operación largo comparado a los otros esquemas. Estas características imponen al proceso un alto costo económico y un alto nivel de complejidad operacional.

El proceso de deshidratación-destilación al vacío-hidrocraqueo produce un rendimiento de productos líquidos moderado con una calidad aceptable. El proceso utiliza 3 unidades de baja presión con un consumo de hidrógeno bajo y un tiempo operacional relativamente corto. Este proceso es más simple y de menor exigencia técnica y económica que el anteriormente mencionado.

El esquema de procesamiento de Hidroconversión catalítica directa opera con una sola unidad a baja presión con un consumo de hidrógeno bajo y un tiempo de contacto corto. Esto hace que el proceso sea simple y poco costoso desde el punto de vista económico.

En la Tabla 1 también se presentan las características del esquema de procesamiento del crudo en presencia de vapor de agua y un catalizador a base de arcilla. Aún cuando no se puede hacer una comparación directa con las modalidades anteriores debido a que los porcentajes se basan en una alimentación diferente, se puede sin embargo observar que se genera una alta proporción de destilados líquidos de calidad aceptable relativa al crudo original. Una de las desventajas del proceso es el hecho de que exige un tiempo de contacto muy largo para su implementación en régimen continuo. En este sentido se realizan investigaciones actualmente para minimizar el tiempo de contacto y construir unidades de reacción capaces de manipular la mezcla crudo-agua. Este proceso es potencialmente atractivo pues utiliza una sola unidad de reacción y se sustituye el costoso hidrógeno por agua.

Basado en estas consideraciones se puede concluir que es posible procesar el crudo a nivel de laboratorio mediante los esquemas de procesamiento mencionados anteriormente y la cantidad y calidad de las fracciones obtenidas depende del tipo de procesamiento.

TABLA 1
COMPARACION DE LOS ESQUEMAS DE PROCESAMIENTO

PROCESO	Nº UNO	REACCIONANTES	CATALIZADORES	TMC	P (atm) (hr)		LIG.		GASES		RESIDUO	
					P	t	OP1 %	OP2 %	OP3 %	PETAL %	ASPH %	
Deshidratación Hidrodemetalización Hidrodesulfuración Destilación a vacío Hidrocracking	5	Hidrógeno Hexaca 2X	Arquilla y Ce-Pu sobre Al ₂ O ₃	150 + 450	0,013 + 41	36 + 41	77,3 + 21	17,3	3,4	alto	alto	
Deshidratación Destilación a vacío Hidrocracking	3	Hidrógeno Hexaca 2X	Arquilla	150 + 450	0,013 + 1	11	67,6	18	24,1	8,1	alto	alto
Hidroconversión catálitica directa	1	Hidrógeno Hexaca 2X	Arquilla	300 + 450	1 + 3	51,5	16	34,4	14	alto	alto	
Conversión catálitica directa en presencia de agua	1	Agua + Jelo	Arquilla	200	60	120	64	18	18			

B. Estudio de las Etapas Involucradas en el Procesamiento

a. Hidrodesmetalización

En la Figura 2 se presentan los datos experimentales de la hidrodeshmetalización del crudo pesado Hamaca 2X a diferentes relaciones arcilla/crudo y se observa que la concentración de vanadio (C_v)1 decrece gradualmente con el tiempo hasta alcanzar un estado final de remoción relativamente estacionario <30> y <33>.

En la Figura 3 se presentan los datos en términos de un modelo cinético simple de pseudo primer orden con respecto a la concentración de vanadio en el líquido. De acuerdo a esta representación la velocidad global de hidrodeshmetalización, V_{gv} , se puede describir según la ecuación 1.

$$V_{gv} = - \frac{d(C_v)}{dt} = K_v(C_v) \quad (1)$$

donde K_v es un parámetro que depende de las condiciones experimentales y es igual a K_{v1} en el período inicial y a K_{v2} en el período final.

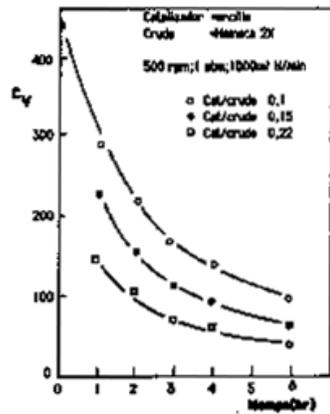


FIG. 2.-VARIACION DE LA CONCENTRACION DE VANADIO EN FUNCION DEL TIEMPO

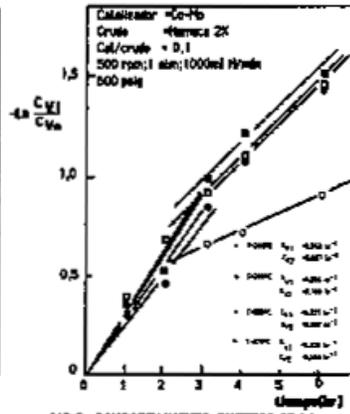


FIG. 3.-COMPORTAMIENTO CINETICO DE LA HIDRODESMETALIZACION

El análisis de los datos experimentales asociados con el efecto de la temperatura indica que la energía de activación global en el período inicial es del orden de 780 cal/gmol y en el período final es de 2880 cal/gmol <3>.

El rango de valores observados para la energía de activación y la evaluación de la influencia de la temperatura y la concentración de catalizador, sugiere que la etapa limitante en la hidrodeshidrogenación del crudo Hamaca 2X a baja presión con arcillas granulares de 40 a 60 mesh está relacionada con las resistencias difusionales a la transferencia de masa externa de las macromoléculas que contienen metales <3>.

b. Hidrodeshidrogenación

En la Figura 4 se presentan los datos obtenidos para la hidrodeshidrogenación global de los crudos pesados durante la etapa hidrodeshidrogenación y la etapa de hidrodeshidrogenación propiamente dicha y se observa que se logra un 75% de desulfuración con catalizadores de Co-Mo/Al₂O₃ y un 27% con arcillas <12>, <19>, <27>, <30>. Los datos indican que los catalizadores de Co-Mo/Al₂O₃ poseen una mayor capacidad para hidrodeshidrogenación que las arcillas naturales. En ambos casos la concentración de azufre en el crudo (Cs)₁ decrece gradualmente en el tiempo hasta alcanzar un estado final de remoción.

En vista de la capacidad de los catalizadores de Co-Mo/Al₂O₃ para la hidrodeshidrogenación se llevó a cabo un estudio con estos catalizadores a diferentes temperaturas, agitación, presión y flujo de hidrógeno y relación catalizador/crudo <12>, <27>, >30>. En el mejor de los casos observados se logró una desulfuración del 80% a 390°C y 500 rpm con flujo de hidrógeno de 1000 ml/min a 600 psig para una relación catalizador/crudo de 0.1.

En la Figura 5 los datos se representan en términos de un modelo cinético de pseudo primer orden con respecto a la concentración de azufre en el líquido (Cs)₁ y se observa que la velocidad global de hidrodeshidrogenación, V_{gs}, se puede expresar según la ecuación (2).

$$V_{gs} = - \frac{d(Cs)_1}{dt} = K_s(Cs)_1 \quad (2)$$

donde K_s es un parámetro que depende de las condiciones experimentales y es igual a K_{s1} en el período inicial y a K_{s2} en el período final.

La energía de activación obtenida a partir de la influencia de la temperatura es del orden de 9000 cal/gmol en el período inicial y de 16300 cal/gmol en el período final.

El rango de valores obtenidos para la energía de activación, asociados con los efectos observados al variar la relación crudo/catalizador temperatura y tamaño de partícula sugiere que la etapa limitante de la hidrodesulfuración de crudos pesados en presencia de catalizadores de cobalto-molibdeno Ketjen fine Ht400 E/32" es la difusión intraparticular de las macromoléculas que contienen azufre.

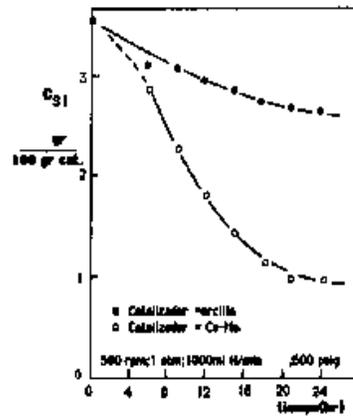


FIG. 4.- HIDRODESULFURACION CON ANCLAS Y CATALIZADORES Co-Mo/Al₂O₃

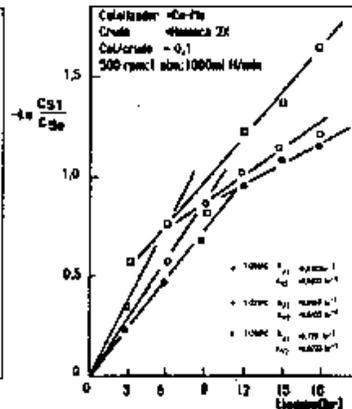


FIG. 5.- COMPORTAMIENTO CINÉTICO DE LA HIDRODESULFURACION

a. Hidroconversión Catalítica de Crudos Pesados y Residuos

En los procesos de hidroconversión catalítica de crudos pesados o residuos interacciona el hidrógeno, el crudo y el residuo con un catalizador. Las experiencias en el laboratorio se han realizado en reactores semicontínuos y continuos con

diferentes tipos de alimentación y bajo condiciones que permiten la ruptura de los enlaces C-C <22>, <34>, <39>.

Los experimentos exploratorios sobre el proceso de hidroconversión se efectuaron inicialmente en un reactor semicontínuo no isotérmico utilizando un residuo de vacío del crudo Hamaca 2X 770°F⁺ en presencia de un flujo de hidrógeno a baja presión y un catalizador de arcilla. Los datos obtenidos indican que el tiempo de contacto y la temperatura requerida para alcanzar coquificación del residuo es del orden de 80 minutos y 400°C respectivamente.

En la Figura 6 se representa el volumen de destilados líquidos obtenidos en función del tiempo hasta alcanzar coquificación total del residuo. Los datos muestran que durante los primeros 100 minutos de operación el volumen de líquido producido varía casi linealmente con el tiempo sufriendo una declinación a medida que la reacción avanza más allá de los 100 minutos.

La cantidad y propiedades de los productos depende del tipo de residuo, catalizador y condiciones de operación tal como se muestra en las referencias <34> y <39>. A partir del residuo del crudo Hamaca 2X 770°F⁺ se obtuvo bajo condiciones de coquificación un 31% (P/P) de líquidos, 42% (P/P) de gases y 27% de sólidos. El producto líquido tiene una densidad de 44°API y 2125 cps (20°C). En general los destilados líquidos están constituidos por gasolinas, kerosene, gas-oils, fuel oils y aceites. Los gases están formados por hidrocarburos gaseosos no condensables y los sólidos están constituidos por un residuo coquificado.

A pesar de la complejidad del proceso reaccionante y de la no isothermicidad del sistema es posible proponer una expresión para la velocidad global del proceso en términos del volumen total de productos líquidos obtenidos.

En este sentido se puede observar en la Figura 6 que durante los primeros 100 minutos del proceso el volumen de productos líquidos, V_1 , en función del tiempo exhibe un comportamiento que puede expresarse mediante la ecuación.

$$V_1 = k_1 t \quad (3)$$

donde k_1 es una constante de proporcionalidad.

Si se define la velocidad global de producción de líquidos según

$$V_{gl} = \frac{1}{V_c} \frac{dV_1}{dt} \quad (4)$$

donde V_c representa el volumen de asfalto cargado inicialmente al reactor y al sustituir en la ecuación 3 queda,

$$V_{gl} = \frac{k_1}{V_c} \quad (5)$$

Como V_c representa el volumen de asfalto cargado inicialmente en el reactor entonces k_1/V_c es constante o sea

$$\frac{k_1}{V_c} = k_1 \quad (6)$$

Sustituyendo en la ecuación (5) queda

$$V_{gl} = k_1 \quad (7)$$

La ecuación (7) sugiere que durante la hidroconversión del residuo de vacío Hamaca 2X la velocidad global de producción de líquidos por unidad de volumen de residuo inicial puede representarse mediante un modelo de orden cero.

En la Figura 7 se grafica V_1/V_c en función del tiempo y se determina el valor de la constante de la velocidad global de producción de líquidos que resulta ser $K_1 = 0.246 \text{ hr}^{-1}$.

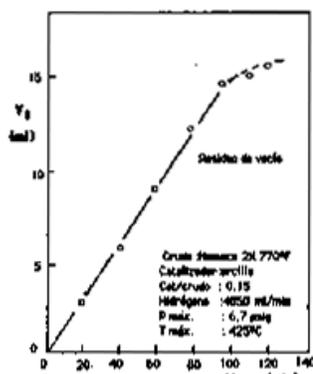


FIG. 6.-PROYECCION DE DESTILADOS LIQUIDOS. INNOCONVERSION DE RESIDUOS.

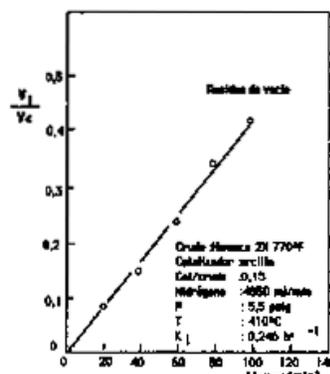


FIG. 7.-VARIACION DE LA RELACION VOLUMEN LIQUIDO/VOLUMEN ASFALTO RESIDUAL.

Para verificar la información obtenida en el reactor semicontinuo no isotérmico se llevaron a cabo varias experiencias en INTEVEP en un reactor semicontinuo a escala piloto.

En los experimentos se utilizó un residuo de vacio de crudo pesado Zuata 932°F⁺. A partir de este residuo de 1.6°API, 4.62% S y 711 ppm de vanadio se obtuvo 32.5% (P/P) de destilados líquidos de gases y 53.2% residuo semiasfáltico. El producto líquido tiene una densidad de 53°API y 1.27% S. Los gases están formados por hidrocarburos incondensables y H₂S. El producto semiasfáltico tiene 538 ppm de metales y 3.42% S.

En la Tabla 2 se comparan los datos obtenidos en el reactor semicontinuo no isotérmico de 100 cm³ construido en el laboratorio con los datos observados en el reactor semicontinuo isotérmico de 4500 cm³ de INTEVEP. Aún cuando no se puede hacer una comparación total es posible observar que al escalar el proceso manteniendo el tiempo de contacto similar, la misma relación crudo/catalizador y la misma temperatura se obtienen resultados cuya desviación es razonable en términos de las diferencias implícitas en los procesos estudiados.

TABLA 2

COMPARACION DEL PROCESO DE HIDROCONVERSION DE RESIDUOS DE VACIO, EN UN REACTOR SEMICONTINUO NO ISOTERMICO(LA) Y EN UN REACTOR SEMICONTINUO ISOTERMICO (BITEVEP)

CONDICIONES DE OPERACION		REACTOR SEMICONTINUO NO ISOTERMICO(LA)	REACTOR SEMICONTINUO ISOTERMICO(BITEVEP)
Residuo de vacio		Hamaca 2X 770#	Zanta 932#
Catalizador		Arcilla	Arcilla
V _{com} (³)		100	4500
P ₀ (atm)		7	1500
F ₀ (ml/min)		4950	10000
T (°C)		200-420	420
Catal/crudo		0,15	0,15
N (rpm)			600
L (min)		120	120
LIQUIDO	X (P/P)	31	32,5
	+ API	44	53
	X S		1,27
GAS	X (P/P)	42	14,3
RESID.	X (P/P)	27	53,2

La información obtenida en los reactores semicontinuos se utilizó posteriormente para diseñar y construir en el laboratorio un reactor continuo de lecho cuasifijo de flujo cocorriente ascendente <22>. Este reactor permite observar la factibilidad desde el punto de vista práctico. Actualmente se están realizando experimentos con este reactor para observar la procesabilidad de los residuos a nivel de laboratorio y proponer un modelo del proceso reaccionante con propósitos de escalado <22>.

d. Procesos de Separación Física de Crudos Pesados y Fracciones.

En los esquemas de procesamiento de los crudos pesados se intercalan unidades de separación física para fraccionar el crudo pesado o sus fracciones. Los equipos utilizados para estos propósitos son unidades de destilación atmosférica o al vacío construídas en el laboratorio.

En la Tabla 3 se muestra el rendimiento de la destilación al vacío del crudo pesado Hamaca 2X previamente desmetalizado y desulfurado (mejorado) y del crudo Hamaca 2X contaminado <21>. Se puede observar que el crudo mejorado produce un mayor volumen de líquidos y menor cantidad de residuos que el crudo no mejorado. Esto se debe al procesamiento previo a que fue sometido el crudo mejorado.

Tabla 3

REPARTO DE LA DESTILACION AL VACIO

CRUDO	LIGERO(L/V)	MEDIO(M/V)	SOLIDO(S/V)
Hamaca 2X contaminado	28,13	1,26	70,59
Hamaca 2X	36,75	2,23	60,42

En la Figura 8 se representan las curvas de destilación ASTM de los crudos estudiados y se observa que al incrementar la temperatura aumenta el volumen de destilados líquidos. También se puede visualizar que el crudo mejorado necesita una menor temperatura para obtener el mismo volumen de destilado que el crudo contaminado. La información contenida en las curvas ASTM permite conocer el grado y calidad del fraccionamiento del crudo pesado durante la destilación y predecir las composiciones de las fracciones en el equilibrio. Esta información combinada con balances de masa y energía es fundamental para el diseño de las unidades destilación.

La información obtenida al representar las propiedades de las fracciones de la destilación en los gráficos del factor de caracterización KOUF, y del índice de refracción en función de la densidad sugiere que el crudo Hamaca 2X contaminado o mejorado está constituido por hidrocarburos cíclicos del tipo aromático o nafténico sustituidos y unidos entre sí, por cadenas de hidrocarburos lineales o ramificados.

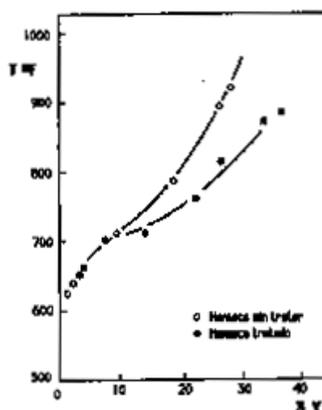


FIG. 8.-CURVAS DE DESTILACION DEL CRUDO

CONCLUSIONES

1. En el Laboratorio de Petróleo y Catálisis Aplicada de la U.L.A. los crudos pesados se han sometido a las siguientes secuencias de procesamiento: deshidratación-hidrodesmetalización-hidrodesulfuración-destilación al vacío-hidro craqueo catalítico, deshidratación-destilación al vacío-hidro craqueo catalítico, hidroconversión catalítica directa del crudo y craqueo catalítico en presencia de agua.

2. A partir de la información experimental obtenida se puede observar que los crudos pesados son procesables y se puede obtener una gama de productos tales como gases, gasolinas, kerosene, gasoleos, fueloleos, aceites, asfalto y coque. La cantidad y calidad de las fracciones depende del tipo de procesamiento a que es sometido.

3. La velocidad de las etapas involucradas en los esquemas de procesamiento anteriores se ha evaluado utilizando modelos cinéticos simples que se ajustan a la información experimental disponible.

4. En el laboratorio se ha logrado diseñar y construir unidades para el procesamiento de los crudos pesados y se han preparado catalizadores adecuados para procesos de hidroconversión.

5. El análisis de los datos experimentales muestra que la confiabilidad de los resultados fue mejorando a medida que se tenía una mejor disponibilidad de equipos y controles.

6. La formulación de correlaciones y modelos ha ido perfeccionándose progresivamente al poseer una mayor información experimental.

REFERENCIAS

- <1> BELANDRIA J.I.; Hidrodesmetalización de Crudos Pesados a Baja Presión. Trabajo de Ascenso, Facultad de Ingeniería ULA (1981)
- <2> BELANDRIA J.I.; Desarrollo de un Reactor Trifásico de Flujo Ascendente con Remoción y Carga de Catalizador. Informe Técnico INTEVEP 0000084, (1984)

- <3> BELANDRIA J.I.; Procesamiento de los Crudos Pesados. Trabajo de Ascenso, Facultad de Ingeniería, ULA (1986)
- <4> BILLON M.; Proceso IFP. Seminario Técnico INTEVEP (1981)
- <5> CONTRERAS A; Preparación y Caracterización de una Arcilla para el Mejoramiento de Crudos Pesados I. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, ULA, (1981)
- <6> CHEVRON RESEARCH CORPORATION; Chevron Process. Catalog (1981)
- <7> CHIYODA CORPORATION; Chiyoda Process. Catalog (1979)
- <8> INTEVEP; Coquificación Retardada. Seminario Técnico (1981)
- <9> DIAZ O.; Preparación y Caracterización de una Arcilla para el Mejoramiento de Crudos Pesados II. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, ULA (1981)
- <10> INTEVEP DSV Process. Seminario Técnico (1981)
- <11> EXXON CORPORATION; Flexicoking Process. Catalog. (1980)
- <12> FUENTES J.; Hidrodesulfuración de Crudos Pesados. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, ULA (1981)
- <13> GULF CORPORATION; Gulf-HDS Process (1981)
- <14> HOWES C.; Fluid Coking Process. Oil and Gas Journal, 32-34, Dec. (1981)
- <15> IFP; Hidrovisbreaking Process. Symposium Technology (1982)
- <16> INTEVEP; Kombi-Creaking Process. Seminario Técnico (1981)
- <17> KRASUCK J.H., SOLARI B., MARZIN R., CAVICCHIOLI I., GONZALEZ G., JARRAURI J.; Proceso HDH-INTEVEP. LIII Conferencia ARPEL, Caracas (1984)
- <18> INTEVEP; L.R Coker. Seminario Técnico, INTEVEP (1981)
- <19> MAYORGA J.O.; Preparación de un Catalizador de Arcilla para Hidrodesmetalización de Crudos Pesados. Trabajo de Ascenso, Facultad de Ingeniería, ULA (1981)
- <20> MCGEE D.; Heavy Oil Upgrading Study, AOSTRA Report, Canadá (1981)
- <21> MONTOYA R., BELANDRIA J.I.; Destilación al Vacío de Crudos Pesados. XXXV Convención AsoVAC, Mérida (1984)

- <22> MONTOYA R.; Hidroconversión de Residuos al Vacío en un Reactor de Flujo Ascendente. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, ULA (1986)
- <23> OSUNA H.; Aspectos Cinéticos de la Hidrodesmetalización de Crudos Pesados. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, ULA (1981)
- <24> PHILPS PETROLEUM CO.; FCC Process Cat. (1981)
- <25> POZZOBON G.; Hidrodesmetalización de Crudos Pesados a Presión Atmosférica. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, ULA (1979)
- <26> POZZOBON G., AREVALO W., BELANDRIA J.I.; Regeneración de Catalizadores de Hidrodesmetalización de Crudos Pesados. XXXV Convención AsoVAC, Mérida (1984)
- <27> RAMIREZ J.W.; Hidrodesulfuración de Crudos Pesados, Trabajo de Ascenso, Facultad de Ingeniería, ULA (1981)
- <28> RAMIREZ J.W.; Acuatermólisis Catalítica de Crudos Pesados. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, ULA (1985)
- <29> INTEVEP; Resid Fining Process. Seminario Técnico, INTEVEP (1981)
- <30> SALCEDO C.; Hidrodesmetalización e Hidrodesulfuración de Crudos Pesados. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, ULA (1983)
- <31> SEPULVEDA C., ACOSTA B., AGUILAR B., GUILLEN N., LUGO A., URBINA Z., VIDAL E.; Hidrodesmetalización e Hidrodesulfuración de Crudos Pesados. XXX Convención AsoVAC, Mérida (1980)
- <32> UNION OIL CORPORATION; Unicraking Process. Cat. (1977)
- <33> UZCATEGUI J.; Hidrodesmetalización de Crudos Pesados. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, ULA (1982)
- <34> VALERA L.; Craqueo mediante Arcillas e Hidrógeno de los Residuos de la Destilación al Vacío de Crudos Pesados. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, ULA (1982)
- <35> VAN DRIESEN R.P., CASPERS J., CAMPBELL A., LUNING D.; Processing Heavy Crudes by Residual Hydrocraking. Hydrocarbon Processing 618-624 (1979)
- <36> VAN GINNEKEN A.J..J.; Schell Process. II Jornadas de Refinación. Puerto La Cruz (1976)
- <37> VILLEGAS E.; Hidroconversión Catalítica Directa de Crudos Pesados. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, ULA (1983)

- <38> INTEVEP; Visbreaking Process. Seminario Técnico (1981)
- <39> ZERPA C.; Hidroconversión de Residuos de la Destilación al Vacío de Crudos Pesados, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, ULA (1983)