

Evaluating the Amuay Refinery main catalytic cracking unit fractionator

Ebert Cabrera, Augusto Bitter y Jorge Sánchez¹

Grupo de Ingeniería de Procesos, Refinería de Lagoven, Falcón 4147, Amuay, Venezuela

¹*Centro de Superficies y Catálisis, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia*

Apartado 15251. Maracaibo, Venezuela

Abstract

The catalytic cracking unit in Lagoven's Amuay Refinery (Falcón, Venezuela) was started up in May 1991 after a revamping project to increase the unit capacity to 645 t/h (108 KBD). Signs of flooding were noticed in the fractionator, trays, such as sudden increases in pressure drops and variations in product flow. On several occasions, feeding had to be reduced to 615 t/h.

The fractionator was simulated in order to study the cause of these problems and identify the process and hydraulic limitations that cause such unstabilities when 645 t/h are fed to the fractionator. PRO II, Version 3.3, was used to simulate the fractionator and standard correlations were used for hydraulic evaluation.

It was found that the fractionator is hydraulically limited by high vapor loads. As a result, there is no flexibility to accommodate operational peeding changes. Some adjustments of the operation conditions and replacement of some trays with structured packing are recommended to improve fractionator operation.

Key words: Flooding, fractionator simulation, catalytic cracking, tray hydraulics.

Evaluación del fraccionador de la unidad de craqueo catalítico de la Refinería de Amuay

Resumen

En mayo de 1991, como resultado de las necesidades de expansión, se incrementó a 645 t/h la capacidad de la unidad de craqueo catalítico de la Refinería de Lagoven en Amuay (Falcón, Venezuela). Durante su operación se observaron indicios de inundación en los platos del fraccionador de esta unidad, tales como aumentos bruscos de la caída de presión y variaciones en los flujos de los productos, siendo necesario en repetidas ocasiones reducir a 615 t/h la alimentación a la unidad.

Con la finalidad de estudiar el origen de estos problemas se simuló el fraccionador para identificar las limitaciones hidráulicas y/o de proceso que causaron inestabilidad en la operación a la carga de expansión. Se utilizó el programa PRO-II, Versión 3.3, de Simulation Sciences Inc. para simular el fraccionador, y las correlaciones de las prácticas de diseño de Lagoven para evaluar el comportamiento hidráulico del mismo.

A la carga de 645 t/h se encontró que el fraccionador está limitado hidráulicamente por los altos flujos de vapor, lo que ocasiona que no haya flexibilidad para operar la planta con cambios en la calidad de la alimentación. Se recomienda efectuar cambios en las condiciones de operación y reemplazar algunos de los platos por empaque estructurado.

Palabras clave: Inundación, simulación del fraccionador, craqueo catalítico, comportamiento hidráulico.

Introducción

La unidad de craqueo catalítico (DCAY) de la Refinería de Lagoven en Amuay (Falcón, Venezuela) fue diseñada para procesar 440 t/h (74.3 KBD) de gasóleos livianos de vacío provenientes de las unidades de destilación al vacío y de hidrodesulfuración; sin embargo, luego de modificaciones menores se procesaron hasta 510 t/h de gasóleos. Como resultado de los proyectos de expansión de la refinería, la carga a la unidad DCAY se aumentó a 645 t/h (108 KBD) en mayo de 1991, realizando dos cambios principales en el fraccionador: aumento de la presión de operación y cambio de los platos tipo Jet del reflujo de tope por empaque estructurado. Las variaciones en la calidad de la alimentación ocasionaron que el fraccionador operase inestablemente, principalmente en las zonas media y de fondo, con aumentos bruscos de la caída de presión y variaciones en los flujos de los productos. Esto es indicativo de que en los platos ocurren inundación y soplado; lo que ha ocasionado que la alimentación a la unidad DCAY se haya reducido hasta 615 t/h (103 KBD).

Por lo tanto, existe poca flexibilidad para que el fraccionador maneje los cambios en la calidad de alimentación, los cuales son típicos en la operación de este tipo de unidades. Adicionalmente hay un pobre fraccionamiento entre el producto de tope (nafta) y el primer corte lateral (gasóleo intermedio liviano) y también hay poca flexibilidad para aumentar el retiro de calor con los reflujo medios e inferior, que permita eliminar la inundación en las zonas inmediatamente superiores a éstas.

En este trabajo se estudia el comportamiento operacional del fraccionador de la unidad de craqueo catalítico, para identificar las limitaciones hidráulicas y/o de proceso que causan inestabilidad cuando se opera a 645 t/h y recomendar mejoras al diseño y/o a la operación para alimentar a la unidad con esta carga. Actualmente la unidad trabaja con una carga de 615 t/h, debido a las limitaciones antes mencionadas. El incentivo para aumentar la carga de 615 a 645 t/h es un ingreso adicional de \$ 25000 diarios.

Metodología

Descripción del fraccionador

El efluente del reactor de la unidad de craqueo catalítico se envía a un fraccionador con dos

despojadores laterales donde se separa en: producto gaseoso, nafta, gasóleo intermedio liviano (LCCO), gasóleo intermedio pesado (ICCO) y un gasóleo pesado como producto de fondo (Lechada). En los despojadoras laterales, se ajusta el contenido de componentes volátiles de los gasóleos LCCO y ICCO [1].

El producto gaseoso contiene hidrógeno e hidrocarburos parafínicos y olefínicos en el rango C₁-C₄; la nafta tiene una gravedad específica de 55 °API, presión de vapor Reid (RVP) de 48.2 kPa man. y octanajes MON y RON de 80 y 92 respectivamente. Los gasóleos intermedios tienen gravedades específicas de 23 y 16 °API, y temperaturas del 95% de recuperado de destilación de 544 y 633 K, respectivamente.

El fraccionador tiene una altura de 50 m y tres secciones de diámetros 5.9, 6.9 y 7.9 m. Está dividido en cuatro zonas, separadas por platos de chimenea: la sección de tope para el reflujo de tope con empaque estructurado GLITSCH y el fraccionamiento de Nafta/LCCO con 9 platos perforados (21 al 30); la sección media para el reflujo medio con 3 platos tipo Jet (18 al 20) y el fraccionamiento de LCCO/ICCO con 7 platos perforados (12 al 17); la sección de fondo para el reflujo de fondo con 4 platos tipo Jet (8 al 11) y para aceite de lavado con 7 platos perforados (1 al 7)); y la sección de lechada para el lavado con una malla GLITSCH y 12 niveles de placas deflectoras [1].

Descripción de la simulación

La simulación del fraccionador se realizó con el programa PRO-II, Versión 3.3, de la compañía Simulation Science [2], y se utilizaron las correlaciones de las prácticas de diseño de Lagoven para evaluar el comportamiento hidráulico del fraccionador [3]. Estas ecuaciones están recopiladas en el Capítulo 6 del texto de Kister [4].

Se seleccionaron datos operacionales de pruebas de planta a tres condiciones diferentes. En la Tabla 1, se muestra un resumen de las condiciones de operación de los casos seleccionados (casos 2, 3 y 4) y del diseño de la expansión realizado por EXXON (caso 1), que se tomó como referencia [5].

Durante las pruebas de planta, se tomaron los datos requeridos para los balances de masa de la unidad y del fraccionador, a partir de los valores históricos registrados de la planta y de análisis del

Tabla 1
Resumen de las condiciones de operación de los casos estudiados. Carga = 645 t/d

Operación	Caso 1 Desconoc.	Caso 2 Inestable	Caso 3 Estable	Caso 4 Estable
Conversión (%)	65	59	66	65
% Alim. hidrotratada	50	60	60	75
Nafta alime. (t/h)	0	7	5	0
% Alim. Craqueada	2	5	9	0

laboratorio [5]. Previo a estas pruebas de planta, se revisó la operabilidad y confiabilidad de toda la instrumentación utilizada en el balance de masa de la unidad (medidores de temperatura, flujo, presión y analizadores de calidad) y se trató de evitar cambios tanto en la calidad de la alimentación como en las condiciones operacionales, por lo menos 24 horas antes de tomar las muestras para su análisis en el laboratorio. Los datos de las pruebas de planta fueron validados con el balance de masa de la unidad, encontrándose errores menores del 1% [5].

En cada uno de los casos simulados, se caracterizó la alimentación al fraccionador con el programa DISTEX (propiedad de Lagoven) ya que la caracterización que se hizo con el programa PRO-II no fue lo suficientemente confiable [5]. La caracterización de la alimentación consistió en mezclar los productos de la unidad para generar una sola corriente que se tomó como la carga al fraccionador. Esta corriente se definió en función de 18 componentes puros (agua, hidrógeno, nitrógeno, CO₂ e hidrocarburos parafínicos y olefínicos en el rango C₁-C₅) y 77 pseudo-componentes con propiedades físico-químicas conocidas y similares a los componentes reales de la alimentación [5].

Los datos iniciales suministrados a la simulación para lograr convergencia (perfiles de presión/temperatura, flujos de entrada/salida y retiros de calor) se tomaron del Caso 1. Las especificaciones requeridas fueron: los flujos de LCCO, ICCO y de la lechada, la temperatura del condensador y del reflujo. Las variables fijadas fueron: la presión de operación, caída de presión en el fraccionador, calor suministrado en los reflujo de tope, medio y de fondo, flujos de los reflujo de tope, medio y fondo, y flujos de los vapores de despojamiento. Las variables manipuladas fueron

los calores del condensador y calor del reflujo de lechada y los retiros laterales del fraccionador [5].

Se utilizó el método termodinámico de Grayson-Streed (GS) para determinar las constantes de equilibrio; mientras que las entalpías y entropías se determinaron con el método de Curl-Pitzer (CP). El método GS utiliza la correlación original de Chao-Seader basada en la ecuación de Redlich-Kwong y en la teoría de la soluciones regulares para evaluar los coeficientes de actividad. Estos métodos son recomendados para sistemas de hidrocarburos livianos y medianos comunes en las fracciones petroleras procesadas en refinerías, a temperaturas menores de 450°C y presiones menores de 20 MPa [2].

La eficiencia inicial de los platos fue estimada como una función de la viscosidad del líquido en cada plato del Caso 1 [3,5]. Posteriormente, se ajustó la eficiencia, a partir de las viscosidades, obteniéndose un número de etapas teóricas del fraccionador de 23.

Resultados y Discusión

Simulación del fraccionador

En la Tabla 2, se muestra un resumen de las calidades de los productos obtenidos en la simulación de los casos 2, 3 y 4 (segunda columna) comparados con los resultados de laboratorio (primera columna); expresadas por la gravedad API y las temperaturas de los diferentes porcentajes de recuperado del ensayo de destilación. Así mismo, se muestran los perfiles de temperatura reales del fraccionador (primera columna) versus los obtenidos con PRO II (segunda columna) para los Casos 2, 3 y 4. En todos los casos se puede observar que los resultados obtenidos de la simulación concuerdan adecuadamente con los datos reales. Esto

Tabla 2
 Temperaturas (K) de los % de recuperados en la destilación de los productos y temperaturas en los platos (K) de los datos de operación y de los obtenidos de la simulación con PRO II

	Caso 2		Caso 3		Caso 4	
Nafta						
95% de recup.	482	476	483	478	484	479
LCCO						
Gravedad API	27.8	29.4	27.5	26.6	28.1	29.4
5% recup.	459	449	461	447	457	456
10% recup.	475	463	481	482	471	471
50% recup.	522	518	524	524	522	519
90% recup.	545	547	550	553	544	543
95% recup.	551	554	559	561	556	550
ICCO						
Gravedad API	18.5	17.7	14.2	14.9	17.9	18.8
5% recup.	516	520	527	500	511	499
10% recup.	557	553	550	536	522	530
50% recup.	597	592	591	590	584	577
90% recup.	626	619	624	617	609	605
95% recup.	634	626	632	622	616	611
Lechada						
Gravedad API	4.4	6.4	1.0	3.1	3.0	6.2
5% recup.	613	593	627	573	627	565
10% recup.	647	618	644	609	655	601
50% recup.	684	656	689	646	672	643
90% recup.	714	690	783	684	700	679
Temperatura en los platos						
Plato 34	424	432	437	435	437	437
Plato 30	454	460	464	464	467	464
Plato 20	471	482	482	488	476	482
Plato 17	522	526	517	527	510	517
Plato 11	552	558	539	549	529	539
Plato 7	595	609	584	594	577	584
Plato 1	619	622	601	604	586	596

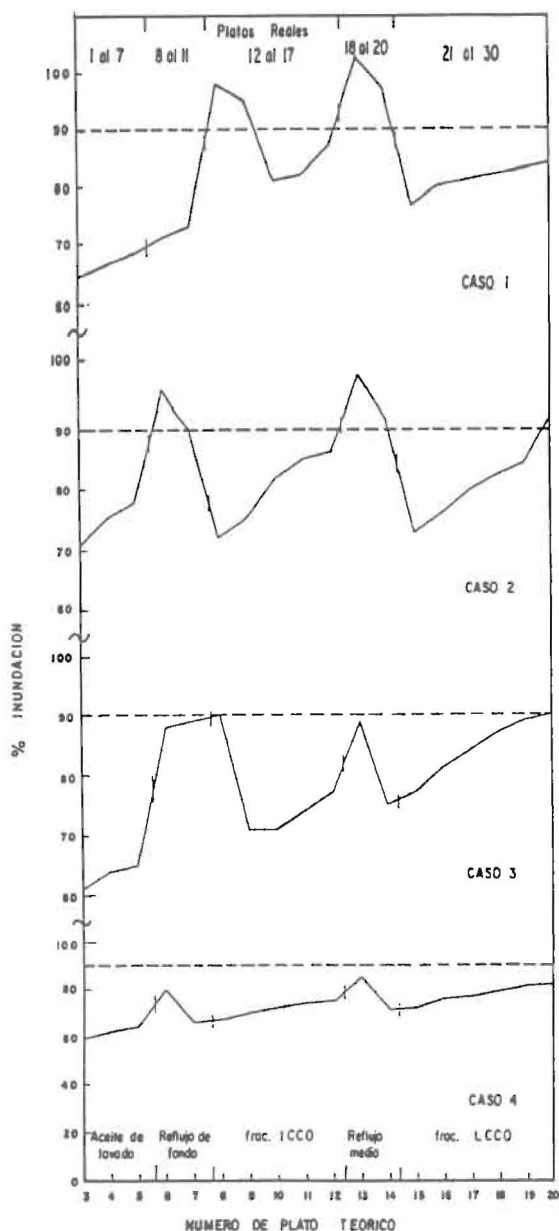


Figura 1. Variación del porcentaje de inundación en los platos del fraccionador para cada caso estudiado.

indica que el programa PRO-II puede ser usado confiablemente en la simulación de los fraccionadores de las unidades de craqueo catalítico.

La validación del programa se realizó considerando una diferencia máxima entre las temperaturas reales y calculadas de 10 K en los perfiles de temperatura a través de la torre [3]. Este error es mayor que el convencionalmente aceptado, ya que se trata de la simulación de una torre que opera con productos craqueados, es decir, que

contienen principalmente compuestos insaturados. Cuando el producto es más pesado, como por ejemplo la lechada, es mayor la concentración de los componentes insaturados de alto peso molecular, principalmente compuestos poli-aromáticos, y las diferencias entre los valores de temperaturas calculadas y reales son mayores, debido a la mayor diferencia entre las propiedades de los pseudo-componentes y de los componentes reales [3,5].

La diferencia entre los valores de temperatura reales y calculados correspondientes a los porcentajes de recuperado en el ensayo de destilación de los productos fue menor a 30 K, lo cual es convencionalmente aceptado [3]. De igual forma, se observa que mientras la fracción hidrocarbonada es más pesada, la temperatura calculada para el porcentaje de recuperado difiere más de la real.

Evaluación hidráulica

La evaluación hidráulica se hizo utilizando las ecuaciones de las prácticas de diseño de Lagooven [3], a partir de los perfiles de presión y temperatura, de los flujos de vapor y líquido en cada etapa teórica y de las propiedades de transporte obtenidas de la simulación del fraccionador con el programa PRO-II.

En la Figura 1 se muestra el porcentaje de inundación en los platos para los casos estudiados. Se observa que en los casos 1 y 2, los platos de reflujo medio y de fondo operan por encima del 90% del punto de inundación, y que en los casos 2 y 3, los platos inferiores de fraccionamiento de LCCO también operan sobre este 90% de inundación. Tal y como se observó durante las corridas de planta, en el caso 2 la operación de la torre está más limitada que en los casos 3 y 4.

De acuerdo a la Figura 1, a partir de los datos de diseño se pudo haber previsto la inestabilidad del fraccionador trabajando a la carga de expansión, y por lo tanto se debieron realizar cambios mecánicos más profundos para evitar los problemas presentados.

En la Figura 2 se muestran los valores de porcentaje de soplado calculados con respecto a la velocidad de gas para el máximo arrastre permitido de líquido al plato superior. Se observa que el fraccionador se opera a valores cercanos al máximo permitido de 90% [3,4,6] en los platos superiores de la zona de fraccionamiento de LCCO en

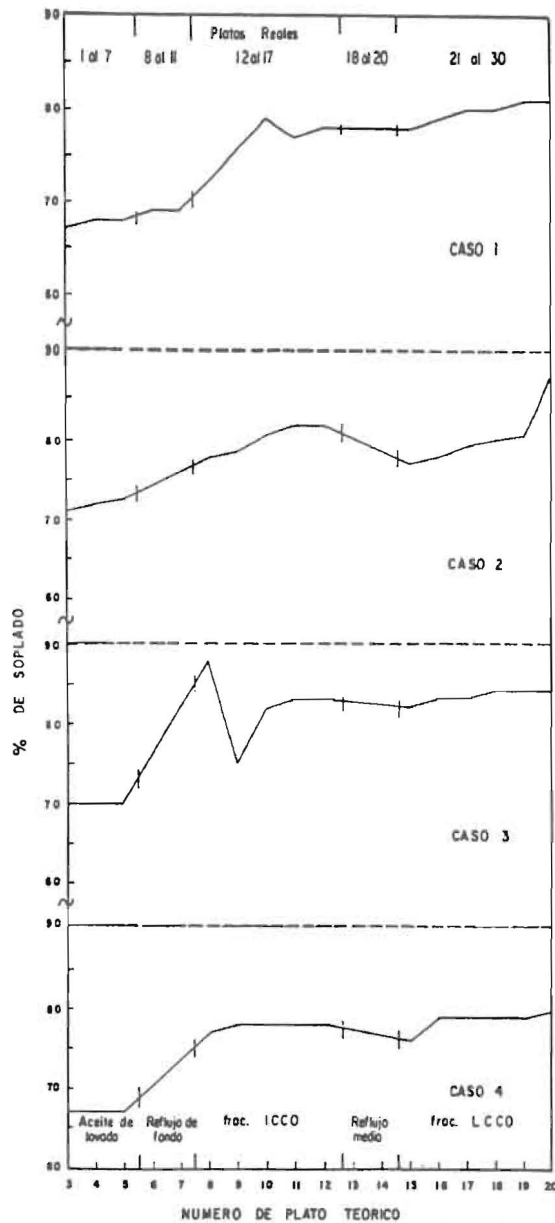


Figura 2. Variación del porcentaje de soplado en los platos del fraccionador para cada caso estudiado.

el caso 2, y en los platos inferiores de la zona de fraccionamiento de ICCO en el caso 3. Esto se explica por el alto flujo volumétrico manejado por la torre en estos casos: en el caso 2, la conversión es apenas de 59%, y en el caso 3 se operó con alto porcentaje de producto craqueado y con nafta de reprocesamiento en la alimentación. El arrastre de líquido a la zona de empaque desde la zona de fraccionamiento de LCCO, explica el solapamiento entre las curvas de destilación de la nafta y el LCCO en todos los casos.

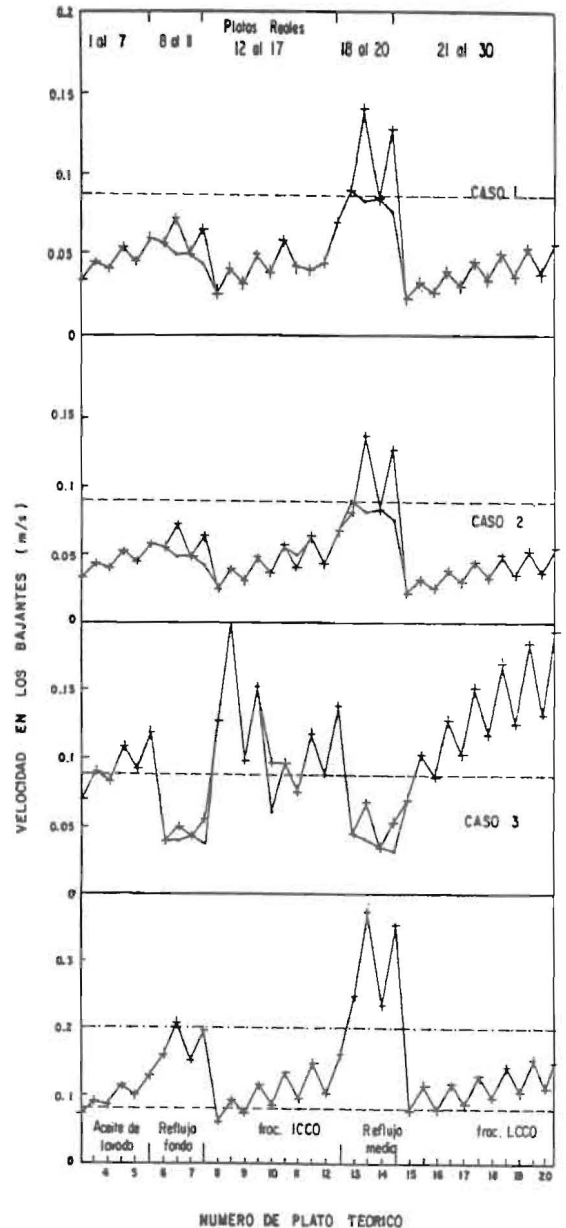


Figura 3. Velocidades del líquido en las bajantes de entrada (.) y salida (+) en los platos del fraccionador para cada caso estudiado.

Las velocidades del líquido a la entrada y salida de los bajantes se muestran en la Figura 3 para los cuatro casos estudiados. En la zona de reflujo medio para los casos 1, 2 y 4 se opera a velocidades de líquido cercanas a los máximos permitidos de 0.09 m/s y 0.2 m/s en la entrada y salida de los bajantes, respectivamente [3,4,6]. En el caso 3 en la mayoría de los platos del fraccionador se operó a velocidades de líquido mayores que las permitidas. Al trabajar a altas velocidades de

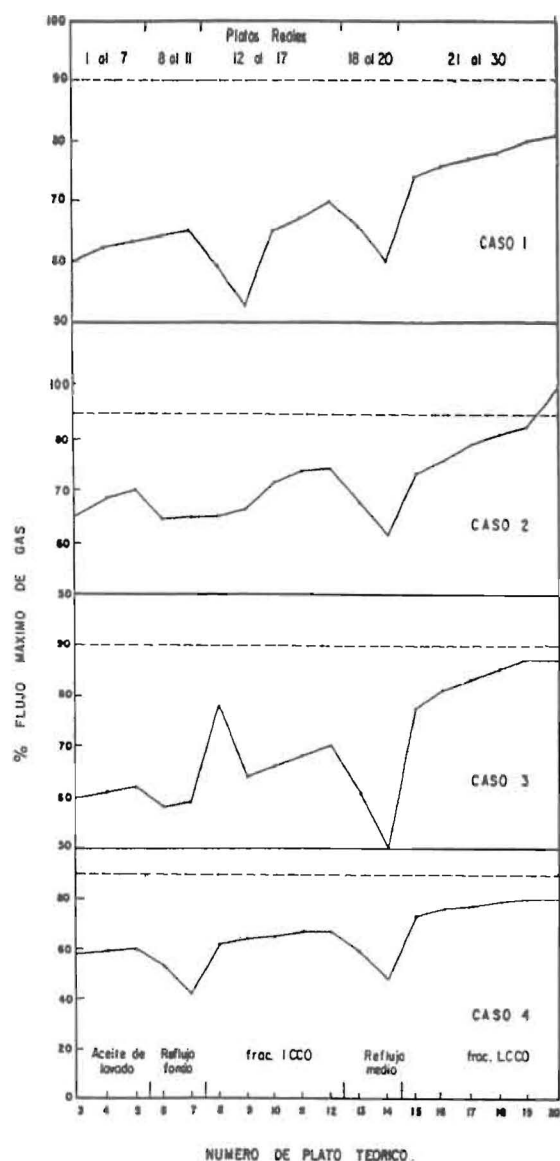


Figura 4. Variación del porcentaje de flujo máximo de gas en los platos del fraccionador para cada caso estudiado.

líquido en los bajantes se disminuye el tiempo de residencia de la mezcla gas-líquido que entra al bajante, lo que origina un reflujo de gases que sobrecarga al plato y origina inundación [4,7].

En la Figura 4 se reportan los porcentajes del flujo de gas con respecto al flujo máximo de operación en cada plato del fraccionador. En los platos superiores de la zona de fraccionamiento de LCCO para los casos 2, 3 y 4 se opera a valores cercanos al máximo permitido de 90% [3,4]; por lo tanto al ocurrir pequeños cambios en los flujos del vapor ascendente se produce inundación en esta zona.

Estudio de sensibilidad

En la Tabla 3 se muestra el estudio de sensibilidad de cada uno de los casos, aumentando en 10% los flujos de vapor y líquido en los platos. Se observa que la inundación del fraccionador se debe principalmente a los altos flujos de vapor, ya que un pequeño cambio en el flujo de vapor es suficiente para llevar al fraccionador a condiciones de inundación. Cuando se aumentan los flujos de líquido y vapor en el caso 3, la tendencia del fraccionador a inundarse es mayor que en los otros casos, ya que se incrementa el flujo de gases a través de la torre debido a que se opera con mayor porcentaje de producto craqueado y adicionalmente se alimenta nafta de reprocesamiento. Como los puntos de operación se encuentran cercanos del límite superior de la curva de inundación, cualquier cambio que aumente los flujos de vapor y líquido, ocasionaría inundación en la torre.

Según los resultados mostrados en la Tabla 3, no es posible reducir el flujo de vapor en la torre, aumentando el retiro de calor con el reflujo inferior a la zona inundada, porque la cantidad de líquido adicional que se requiere manejar causa la inundación de esos platos; esta situación es más crítica en la zona del reflujo medio. El no poder manipular los retiros de calor para mejorar el problema de inundación causado por el alto flujo de gases, le resta flexibilidad a la operación del fraccionador.

Aumentando el flujo de LCCO y maximizando el retiro de calor con el reflujo de lechada, disminuye el flujo de vapor a través del fraccionador y se opera lejos del punto de inundación, tal como se muestra en la Tabla 3. Sin embargo, esto ocasionaría que las dos bombas de LCCO (principal y de respaldo) se deben operar continuamente, disminuya la eficiencia del despojamiento de LCCO, la temperatura del 95% de recuperado en la destilación del ICCO baje de 630 a 350 K y la producción de ICCO disminuya en 3.7 t/h (600 KBD).

En los casos 3 y 4, se logra operar establemente el fraccionador, sin embargo hay poca flexibilidad para aceptar variaciones en la calidad de la alimentación o en las condiciones en el reactor. Estas variaciones son típicas en la operación de unidades de craqueo catalítico, ya que están alimentadas con productos de diferentes plantas y tanques de distintas composiciones.

Tabla 3
Estudio de sensibilidad de la hidráulica del fraccionador

Caso	Platos	% Inundación					
		Normal ¹	+%V ²	+%L ³	+Ref ⁴	+LC ⁵	+Rlch ⁶
1	12 al 17	80-87	<95	<90	<88	<84	<86
1	21 al 30	80-85	<96	<89	<84	<83	<84
2	12 al 17	73-86	<98	<89	<91	<84	<85
2	21 al 30	75-85	<97	<90	<92	<83	<85
3	12 al 17	72-78	<92	<90	<88	<76	<78
3	21 al 30	76-90	<96	<91	<89	<88	<90
4	12 al 17	69-73	<88	<83	<85	<72	<70
4	21 al 30	73-79	<92	<87	<89	<77	<77

¹% de inundación simulado con datos reales. ²% de inundación con 10% adicional de vapor. ³% de inundación con 10% adicional de líquido. ⁴% de inundación maximizando los reflujos. ⁵% de inundación maximizando el retiro de LCCO. ⁶% de inundación maximizando el reflujo de lechada.

Las limitaciones en la operación a flujos mayores de la alimentación, se pueden eliminar realizando modificaciones mayores en los internos de la columna, como por ejemplo sustituyendo los platos 8 al 30 por empaque estructurado. Barajas [8] demostró que si se reemplazan los platos de la sección media (platos 12 a 30) por empaque estructurado, el fraccionador puede operar a condiciones alejadas del punto de inundación. Adicionalmente, Kister [4,6] recomienda el uso de simuladores en línea para operar fraccionadores con flexibilidad limitada, tal como es el caso del fraccionador de la unidad DCAY.

Conclusiones y Recomendaciones

Del estudio realizado se concluye lo siguiente en cuanto a la operación del fraccionador de la unidad de craqueo catalítico de la Refinería de Lagoven en Amuay:

1.- A la carga de diseño de 645 t/h y con las calidades de las alimentaciones actual y de diseño, el fraccionador de la unidad DCAY se encuentra limitado hidráulicamente, lo cual reduce su flexibilidad para manejar cambios operacionales. Esto representa una limitación a la capacidad de la unidad, ya que cargas mayores a las de diseño, eliminarían totalmente la poca flexibilidad actual u originarían inundación en los platos.

2.- El principal factor que contribuye a la condición de inundación del fraccionador es el flujo de gases manejado por la torre. Es decir, cualquier acción tendiente a la reducción del flujo de gas en el fraccionador, mejorará la condición del mismo.

3.- La zona de reflujo medio (platos 18 al 20) está limitada hidráulicamente. Esto no se puede corregir aumentando el retiro de calor con el reflujo inferior a la misma.

4.- Las zonas de fraccionamiento entre la nafta y LCCO (platos 21 al 30) y el LCCO y ICCO (platos 12 al 17) están también limitadas hidráulicamente, afectando la eficiencia de fraccionamiento entre estos productos.

Entre algunas de las acciones que se pueden llevar a cabo para mejorar el funcionamiento del fraccionador se recomienda:

1.- Aumentar el retiro de calor en el reflujo de lechada y el flujo de LCCO, para descongestionar la zona media de la torre y estabilizar la operación.

2.- Reducir la cantidad de vapor de agua que se introduce en el sistema reactor/fraccionador, ya que contribuye junto a los gases secos a aumentar el flujo gaseoso a través del fraccionador.

3.- Optimizar la calidad de alimentación a la unidad de craqueo catalítico, aumentando la cantidad de gasóleos livianos de vacío desulfurado, reduciéndose la producción de gases.

4.- Instalar un simulador del fraccionador en línea, que establezca la óptima distribución de calor entre los reflujos, y mantenga los platos lejos de las condiciones de inundación.

Referencias

1. Manual Técnico de la Unidad de Craqueo Catalítico, Refinería de Amuay, Lagoven.
2. PRO-II, PC User Guide- Versión 3.3, Simulation Sciences Inc., 1991.
3. "Prácticas de Diseño de Columnas de Destilación", Refinería de Amuay, Lagoven.
4. Kister, H. "Distillation Design", 1rst. Edition, McGraw-Hill, New York, 1992.
5. Cabrera, E. "Evaluación del fraccionador de la unidad de craqueo catalítico de la Refinería de Amuay", Tesis de Maestría, Posgrado de Ingeniería-LUZ. Enero, 1994.
6. Kister, H. "Distillation Operation", 1rst. Ed., McGraw-Hill, New York, 1990.
7. Lieberman, N. "Troubleshooting of Fractionation Units", 2nd. Edition, Gulf Publishing Co., 1988.
8. Barajas H. y Diener, R. "Especificación del Proceso 23-93/GIP-93-164", Lagoven S.A., 1993.

Recibido el 4 de Julio de 1995

En forma revisada el 2 de Diciembre de 1996