

Effect of increasing the load in the Amuay Refinery alkylation isostripper tower

José Ayala, Augusto Bitter y Jorge Sánchez¹

Grupo de Ingeniería de Procesos, Refinería de Lagoven, Amuay

¹Centro de Superficies y Catálisis, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia
Apartado 15251, Maracaibo, Venezuela

Abstract

In this work the alkylation isostripper tower of Amuay Refinery (Falcón, Venezuela) was studied by means of simulation with PRO-II, Version 3.3 (Simulation Sciences Inc). The Hexamer algorithm was used to calculate the thermodynamic properties of hydrocarbon mixtures with hydrogen fluoride. Simulations of the isostripper tower were done with design data from Universal Oil Products (UOP), up to date operational data and data for expanding capacity.

A comparison of the simulation results with the design and operational data shows that in all cases product purity, temperature profiles and liquid and vapor compositions in each tray, as well as the values of other operational variables, were very similar.

From the simulation of the isostripper tower for higher loads, it was found that the feed could be increased up to 10615 kmol/h without hydraulic limitations in the main isostripper tower nor process limitations in the main equipment (pumps, condenser, reboiler, etc.). This feed increase produces 730 kmol/h alkylate and \$60.000 a day.

Key words: Alkylation, isostripper simulation, tray hydraulics, flooding.

Efecto del aumento de la carga en la fraccionadora principal de la Unidad de Alquilación de la Refinería de Amuay

Resumen

En el presente trabajo se estudia el comportamiento operacional de la fraccionadora principal de productos de la Unidad de Alquilación de la Refinería de Amuay (Falcón, Venezuela), por medio de la simulación de la misma con el paquete PRO-II, versión 3.3 (Simulation Sciences Inc.). Se utilizó el algoritmo Hexamer para calcular las propiedades termodinámicas de sistemas de hidrocarburos en presencia de HF. Se realizaron simulaciones en estado estacionario de la fraccionadora con datos de diseño obtenidos por la Universal Oil Products (UOP), datos operacionales actuales y datos para la expansión de su capacidad.

Al comparar los resultados de la simulación con los datos de diseño y los datos operacionales de la unidad se encontró que en todos estos casos eran muy similares las calidades de los productos, los perfiles de temperatura y las composiciones de líquido y vapor en cada plato, además de los valores de otras variables de operación.

De la simulación de la fraccionadora principal para cargas mayores, se encontró que la alimentación puede aumentarse hasta 10615 kmol/h sin que se presenten limitaciones hidráulicas en la torre fraccionadora, ni de proceso en los equipos principales (bombas, condensador, rehervidor, etc.). Este incremento de la alimentación produce 730 kmol/h de alquilato y un beneficio de \$60000 diarios.

Palabras clave: Alquilación, simulación de fraccionadores, hidráulica de plato, inundación.

Introducción

En las refinerías, las unidades de alquilación tienen un valor importante, ya que en ellas se transforman hidrocarburos olefinicos (propileno y butilenos) e isobutano, en presencia de ácido fluorhídrico (HF) como catalizador, en un producto parafínico altamente ramificado con excelentes propiedades antidetonantes, denominado alquilato.

Los productos principales de las reacciones de alquilación de propileno y butilenos, y sus respectivos valores de octanaje MON, se muestran a continuación:

Olefina	Productos principales	Octanaje MON
Propileno	2,3 Dimetilpentano (23DMP)	89
	2,4 Dimetilpentano (24 DMP)	84
Isobutileno	2,2,4 Trimetilpentano (224TMP)	100
2-buteno	2,3,4 Trimetilpentano (234TMP)	96
	2,2,4 Trimetilpentano (224TMP)	100
	2,3,3 Trimetilpentano (233TMP)	99
1-buteno	2,3 Dimetilhexano (23DMH)	79
	2,4 Dimetilhexano (24DMH)	70

La simulación de estas unidades no es simple ya que la presencia de ácido fluorhídrico en los productos amerita atención especial, debido a la poca cantidad de datos experimentales disponibles en la literatura para evaluar sus propiedades termodinámicas. En 1992, la empresa Simulation Sciences Inc. (SIMSCI) incorporó en su programa PRO II, versión 3.3, el método termodinámico Hexamer que permite calcular las constantes de equilibrio, entalpías, entropías y densidades de líquido y vapor, de mezclas de hidrocarburos con HF [1]. Este método está basado en la ecuación cúbica de estado desarrollada por Twu y col. [2] que tiene en cuenta la asociación por puentes de hidrógeno del HF en forma de hexámero en la fase gaseosa. La ecuación está escrita en términos de los

parámetros del monómero y de la constante de equilibrio químico del sistema monómero-hexámero.

En este trabajo se estudia el comportamiento operacional de la fraccionadora principal de la planta de alquilación de la Refinería de Amuay para determinar las limitaciones desde el punto de vista de proceso, tales como: intercambio de calor en el condensador de tope, intercambio de calor en el horno rehervidor, inundación en los platos internos de la torre y capacidad de bombeo de los diferentes cortes de la torre.

Metodología

En la unidad de alquilación de la Refinería de Amuay la separación del efluente del reactor se lleva a cabo en una torre de fraccionamiento con platos perforados. Se obtienen cinco corrientes como productos: HF, un producto de tope que contiene principalmente propano e isobutano, dos productos intermedios uno rico en isobutano y otro en n-butano, y el alquilato como producto de fondo. Debido a la necesidad de incrementar la producción de alquilato, se desarrolló esta simulación con la finalidad de estudiar el efecto en la separación, de las variables de operación de la torre fraccionadora principal de la unidad de alquilación.

En el presente estudio se analizaron los siguientes aspectos:

Revisión del balance de masa y energía

Se revisaron los balances de masa y energía del diseño de esta unidad de alquilación desarrollado por la UOP, para obtener un patrón de comparación al realizar la simulación en PRO-II [3]. En la Tabla 1 se muestran las composiciones molares de las diferentes corrientes de la torre fraccionadora principal: alimentación, producto de tope, y las corrientes de isobutano, butano, alquilato y de HF.

En esta tabla se observa que las composiciones molares de isobutano, n-butano, alquilato y HF en sus respectivos productos son altas, es decir: 87.5% molar de isobutano, 80% molar de butano, y 98% molar de HF. También se

Tabla 1

Composición (% molar) de la alimentación y de los productos de la fraccionadora principal de la unidad de alquilación de la refinería de Amuay-CASO DISEÑO

Componente	Alimentación	Productos				
		Tope	Isobutano	Butano	Alquilato	HF
HF	2.0	2.68	0.00	0.00	0.00	98.0
C2	0.003	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
C3	7.5	18.76	7.5	0.00	0.00	0.5
iC4	77.8	74.54	87.5	4.96	0.00	1.50
nC4	4.5	4.00	4.00	80.0	3.00	0.00
iC5	1.24	0.00	1.00	10.04	6.50	0.00
23DMB	0.22	0.00	0.00	5.00	3.00	0.00
24DMP	0.44	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00
23DMP	1.63	0.00	0.00	0.00	22.00	0.00
2MP	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
23DMH	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
24DMH	0.22	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00
25DMH	0.15	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
223TMP	0.04	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00
233TMP	0.22	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00
234TMP	0.74	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00
244TMP	2.88	0.00	0.00	0.00	38.9	0.00

observa que en el alquilato, formado por una mezcla de hidrocarburos, se encuentran en mayor proporción el 2,2,4 Trimetilpentano (224TMP) con 38.9% molar y el 2,3 Dimetilpentano (23DMP) con 22%.

Recolección y caracterización de muestras

Se recolectaron muestras de la alimentación a la fraccionadora y de sus productos de tope, isobutano de reciclo, butano, alquilato y ácido fluorhídrico. Estas muestras fueron caracterizadas por análisis cromatográfico [4].

La toma y análisis de muestras se realizó en tres periodos diferentes de operación de la fraccionadora. En la Tabla 2 se muestra una composición típica de la alimentación y de los productos, bajo las condiciones actuales de operación de la fraccionadora principal.

En uno de los periodos analizados, la alimentación olefínica contenía una alta propor-

cion de propileno (33% molar) lo que ocasionó un aumento en el contenido de propano y una disminución en el de 224TMP, en sus respectivos productos. En los otros periodos, la alimentación olefínica contenía 28% molar de propileno y de 23 a 25% molar de butilenos, lo que produjo una disminución del contenido de propano y un aumento del contenido de 224TMP, en sus respectivos productos. Estas variaciones en la composición de la alimentación y en las calidades de los productos permitió estudiar diferentes casos bajo las condiciones actuales de operación [3,5].

Elaboración de la simulación

La simulación se realizó en una computadora 386 en el Grupo de Ingeniería de Procesos de la Refinería de Amuay, utilizando las siguientes consideraciones:

1. Se especificaron las condiciones de operación (temperatura, presión, etc.) de las diferentes corrientes de la torre, tanto de las alimenta-

Tabla 2
Composición (% molar) de la alimentación y de los productos de la fraccionadora principal de la unidad de alquilación de la refinería de Amuay-CASO OPERACIONAL

Componente	Alimentación	Productos				
		Tope	Isobutano	Butano	Alquilato	Ácido
HF	2.1	3.0	0.00	0.00	0.00	97.0
C2	0.003	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
C3	8.5	20.0	8.0	0.00	0.00	1.00
iC4	76.8	73.4	88.8	4.5	0.00	2.00
nC4	4.5	3.58	3.5	85.0	0.50	0.00
iC5	1.1	0.00	0.5	7.0	9.00	0.00
23DMB	0.22	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00
24DMP	0.44	0.00	0.00	0.00	5.5	0.00
23DMP	1.63	0.00	0.00	0.00	21.00	0.00
2MP	0.07	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00
23DMH	0.07	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00
24DMH	0.22	0.00	0.00	0.00	3.20	0.00
25DMH	0.15	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
223TMP	0.04	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00
233TMP	0.42	0.00	0.00	0.00	3.50	0.00
234TMP	0.74	0.00	0.00	0.00	8.5	0.00
244TMP	3.00	0.00	0.00	0.00	40.2	0.00

ciones como de los productos; incluyendo su estado físico y los flujos de operación.

2. Se trabajó con platos teóricos, en vez de platos reales. La eficiencia global se determinó a partir de propiedades físicas de las corrientes, utilizando la correlación de Guinness. Se obtuvo un valor de la eficiencia global igual a 75%; y un número de platos teóricos de 48 correspondientes a los 64 platos reales de la fraccionadora principal.

3. Se identificaron los platos de la alimentación y de los productos.

4. Los valores iniciales de los perfiles de presión, temperatura y flujo molares a lo largo de toda la torre, se obtuvieron de las primeras corridas en el programa PRO-II, antes de lograr la convergencia total.

5. Se especificaron los siguientes datos de diseño mecánico de la torre, así como sus internos para determinar el porcentaje de inundación en los platos [3]:

Torre Fraccionadora de Alquilación Diseño Mecánico

Tipo de platos: Perforados

Número del plato	1-6	7-9	10-64
Número de pasos	2	2	4
Altura del vertedero (m)	0.06	0.08	0.08
Altura del bajante (m)	0.28	0.48	0.48
Diámetro de los huecos (m)	0.01	0.01	0.01
Número de orificios por plato	4323	6000	12828
Diámetro interno (m)	3.66	6.71	6.71

6. Se utilizó un número máximo de iteraciones igual a 20, para alcanzar la especificación de temperatura de la corriente de butano, al variar el calor en el rehervidor.

Resultados y Discusión

Tal como se mencionó anteriormente, la simulación de la fraccionadora de alquilación bajo las condiciones del caso diseño, se utilizó para la validación de la misma. A continuación se analizan los resultados de esta simulación:

Balances de masa y energía

Los resultados de los balances de masa y energía de la simulación de la torre para el caso diseño se muestran en la Tabla 3. En esta tabla se presentan los flujos molares de las corrientes caso diseño y los valores obtenidos de la simulación. Los porcentajes de desviación entre estos valores están por debajo del 5%. Con respecto al balance de energía, los requerimientos calóricos obtenidos en la simulación tanto para el rehervidor, como para el condensador presentan desviaciones con respecto al caso diseño de 1 y 5.2%, respectivamente.

Perfil de temperatura

En la Figura 1 se presenta el perfil de temperatura obtenido de la simulación. Estas temperaturas son muy similares a las del caso diseño: por ejemplo, 340 K en los gases de tope, 354 K en el corte de isobutano, 372 K en el corte de butano y 477 K en el fondo. Igualmente, son también muy similares a las correspondientes a las condiciones actuales de operación.

Solamente la temperatura de fondo varió en 3 K con respecto a la diseño, sin alterar prácticamente la composición del producto alquilato.

Perfiles de las composiciones molares de los componentes principales

En relación a la variación de la composición de los componentes principales en las fases líquido y vapor a través de la torre se observa lo siguiente:

Ácido Fluorhídrico. En la Figura 2 se muestra el perfil de fracción molar de HF en las fases gaseosa y líquida a través de la columna. La composición molar de HF no excede el 11.5% en las fases vapor y líquida, en el tramo superior de la torre desde el plato 1 hasta el 7. Todo el HF asciende con los gases hacia al tope y no se encuentra presente en el fondo; esto coincide con el comportamiento operacional de la fraccionadora, donde la mayor parte del HF se recupera en la bota del tambor de reflujo.

Isobutano. La Figura 3 muestra como varía la composición de isobutano de las fases gaseosa y líquida a través de la columna. La fracción molar de isobutano varía a lo largo de la torre, y tal como se muestra en esta figura la mayor composición de isobutano ocurre tanto en el líquido como en el vapor de los platos del tope. En efecto se observa que en la fase vapor del plato N° 7 se presenta la mayor composición de isobutano (88% molar), es por ello que éste sea el plato donde se retira el corte de isobutano y que se retire como producto vapor y no como líquido. Adicionalmente, en la Figura 4 se observa que en la fase líquida del plato N° 7, existe presencia de compuestos del alquilato, por lo tanto si éste fuera el producto se tendría que

Tabla 3

Flujos molares (kmol/h) de la alimentación y de los productos en la torre fraccionadora principal de la unidad de alquilación de la Refinería de Amuay; y requerimiento de calor en el condensador y rehervidor (MMJ/h), CASO DISEÑO

	Alimentación	Tope	Isobutano	Butano	Alquilato	HF
Diseño	8492	1665	6312	50.6	600	261
Simulación	8492	1710	6312	50.6	575	252
%Desviación	-	2.63	0.00	0.00	4.10	3.45
	Calor Condensador		Calor Rehervidor			
Diseño	92.17		132.75			
Simulación	91.4		140.0			
%Desviación	1.1		5.2			

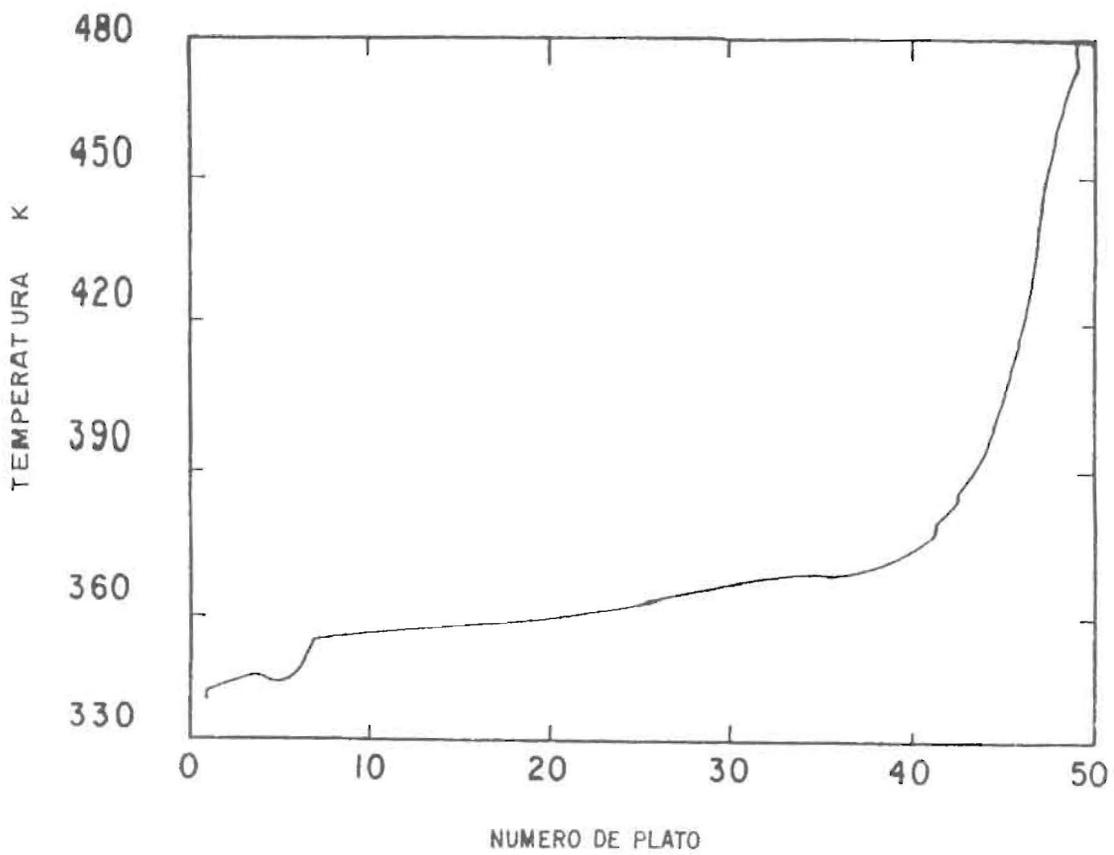


Figura 1. Perfil de temperatura en el fraccionador obtenido con PRO II.

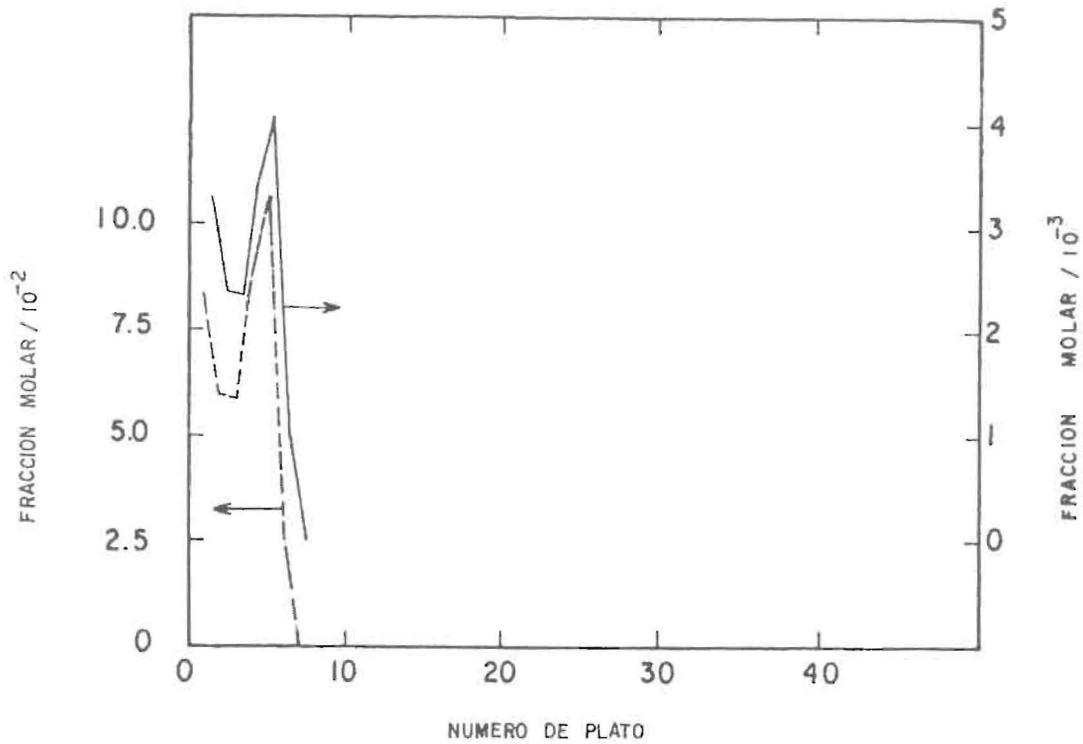


Figura 2. Curvas de composición de HF en las fases líquida (—) y gaseosa (--) en los platos del fraccionador.

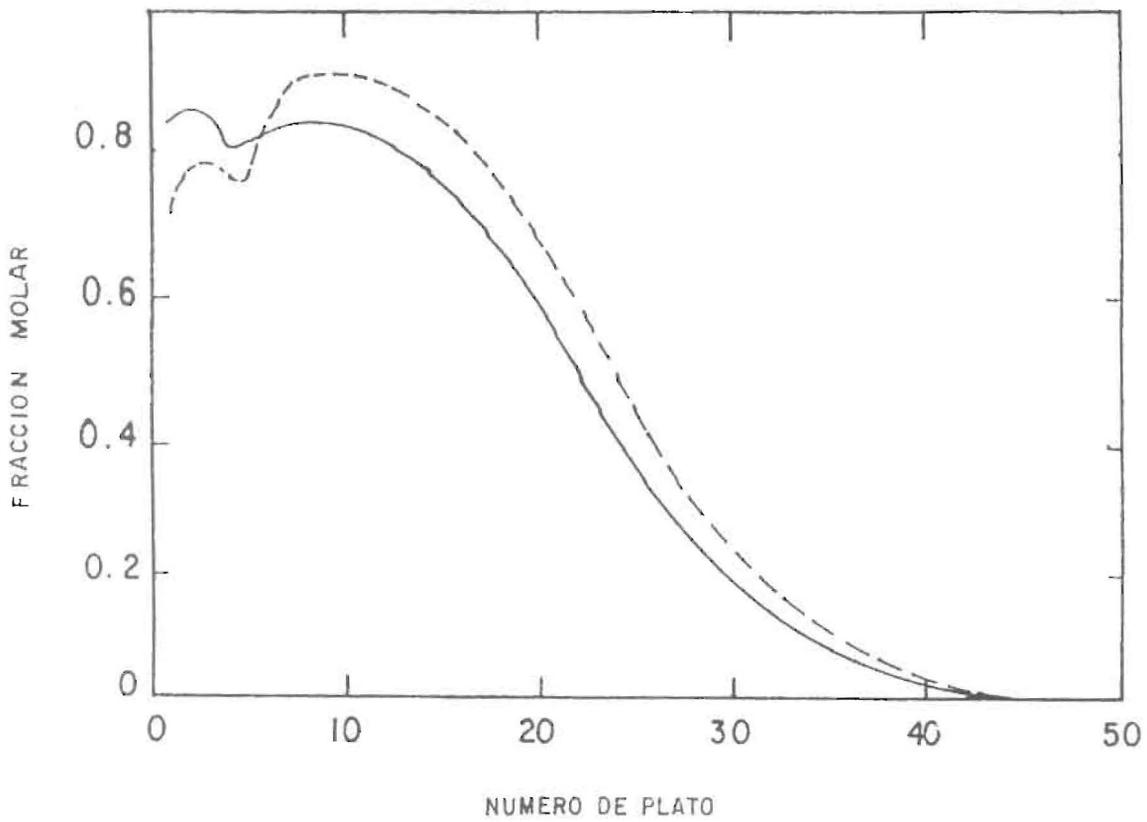


Figura 3. Curvas de composición de isobutano en las fases líquida (—) y gaseosa (--) en los platos del fraccionador.

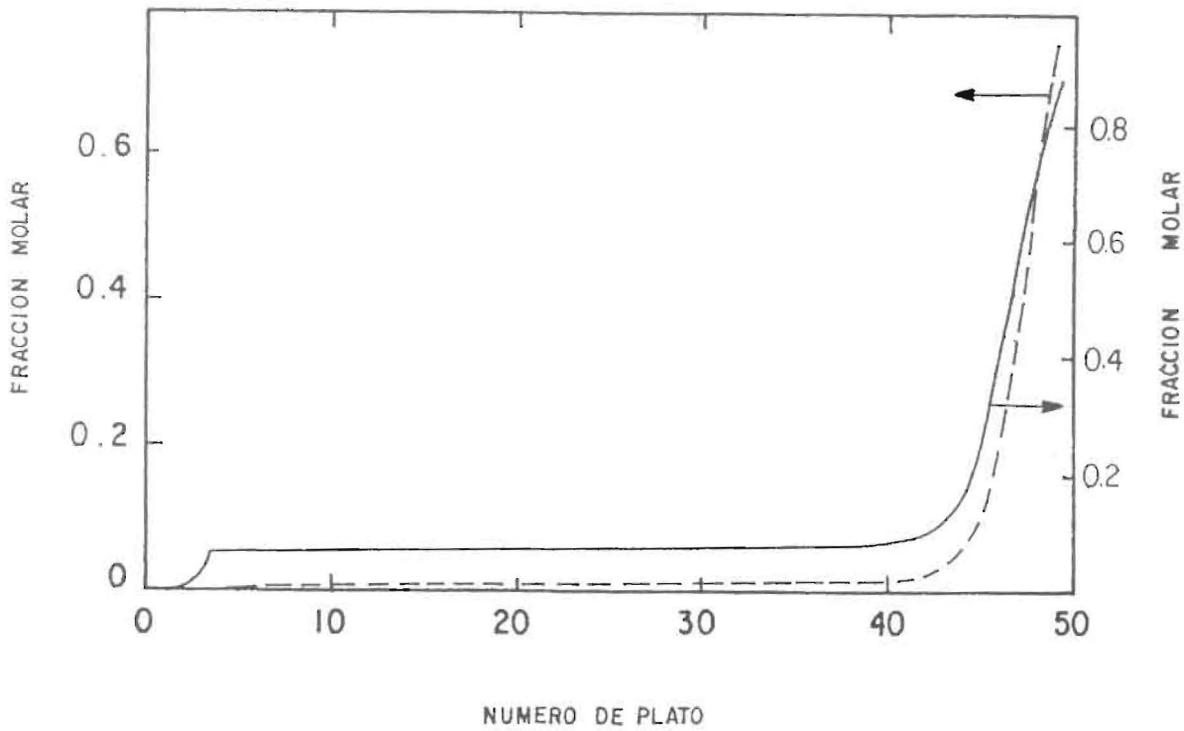


Figura 4. Curvas de composición de alquilato en las fases líquida (—) y gaseosa (--) en los platos del fraccionador.

fraccionar nuevamente si el retiro fuera en la fase líquida.

Butano. El butano tiene un comportamiento similar al isobutano, pero debido a su mayor punto de ebullición, su composición máxima se encuentra en un plato más alejado del fondo: en el plato N° 39, con una composición de 87% molar en la fase vapor. El líquido del plato N° 39 además de tener compuestos del alquilato, su composición en butano es de 70%.

Alquilato. En la Figura 4 se muestra como varía la composición del alquilato en las fases gaseosa y líquida a través de la columna. El alquilato es una mezcla de hidrocarburos parafínicos ramificados, cuyo punto de ebullición promedio está alrededor de 480 K. A partir del plato 45, la fase líquida aumenta rápidamente en composición del alquilato hasta alcanzar en el plato 48 una composición de 90% molar en alquilato y una temperatura de 480 K (ver Figura 1).

Validación del programa HEXAMER

Como muestran los resultados anteriores de la simulación del caso diseño, el método termodinámico HEXAMER predice adecuadamente el comportamiento de los sistemas de ácido fluorhídrico e hidrocarburos, como los presentes en la fraccionadora de la unidad de alquilación. En simulaciones con otros métodos termodinámicos, tales como NRTL, UNIFAC, Van Laar y SRK no se obtuvieron resultados adecuados del comportamiento del equilibrio líquido-líquido, líquido-vapor y de los balances de masa y energía. Por ejemplo, en el producto alquilato a 478 K las simulaciones con estos métodos predicen la presencia de HF; lo que es contrario a lo obtenido operacionalmente, donde todo el HF sale con los gases de tope [5].

Incremento de carga a la fraccionadora principal

La evaluación de la torre fraccionadora de la unidad de alquilación surge de la necesidad de incrementar la carga para aumentar la producción de alquilato de 580 kmol/h a 730 kmol/h, para suplir la demanda de alquilato en los años venideros, lo que representa un ingreso adicional de divisas en el orden de \$ 60000/diarios.

Los flujos molares de las alimentaciones y de los productos para obtener 730 kmol/h de alquilato fueron proporcionados por la UOP y se muestran en la Tabla 4. Se necesita una alimentación de 10615 kmol/h para producir esta cantidad de alquilato.

En la Tabla 5 se presenta la composición de la alimentación y de los productos obtenidos de la simulación. Cuando se aumentó la carga de la alimentación se mantuvieron las mismas condiciones de presión y temperatura del caso diseño en cada plato, y se modificaron solamente los flujos molares.

En la Tabla 6 se muestran los flujos de los productos obtenidos de la simulación, encontrándose una desviación menor del 3% con respecto a los suministrados por la UOP. En cuanto a las composiciones de estos productos, se encontró que los mismos tienen la calidad requerida: 88.6% molar de iC_4 en el producto isobutano y 86% de n-butano en el producto butano.

Los flujos de los productos se utilizaron para evaluar la hidráulica de los equipos de bombeo, con la finalidad de determinar las limitaciones existentes en los mismos. En la Tabla 7 se comparan la capacidad actual de las bombas con la capacidad necesaria para el aumento de carga. Como se observa, solamente hay limita-

Tabla 4

Flujos molares (kmol/h) de la alimentación y de los productos en la torre fraccionadora principal de la unidad de alquilación de la Refinería de Amuay para una producción de 730 kmol/h de alquilato-CASO CARGA AMPLIADA

	Alimentación	Tope	Isobutano	Butano	Alquilato	Ácido
Diseño	10615	2100	7915	63	730	360
Simulación	10615	2074	7919	63	730	366
%Desviación	-	1.24	0.05	0.00	0.00	1.64

Tabla 5

Composición (% molar) de la alimentación y de los productos de la fraccionadora principal de la unidad de alquilación de la refinería de Amuay-CASO CARGA AMPLIADA

Componente	Alimentación	Productos				
		Tope	Isobutano	Butano	Alquilato	HF
HF	3.0	3.02	0.00	0.00	0.00	98.18
C2	0.003	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
C3	7.02	17.7	5.25	0.00	0.00	0.46
iC4	77.5	76.4	88.57	8.84	0.00	1.31
nC4	4.51	2.68	4.63	86.0	0.3	0.00
iC5	1.24	0.13	0.65	3.89	9.52	0.00
23DMB	0.22	0.00	0.06	0.12	2.58	0.00
24DMP	0.44	0.00	0.20	0.12	5.72	0.00
23DMP	1.63	0.00	0.01	0.38	21.7	0.00
2MP	0.07	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00
23DMH	0.07	0.00	0.00	0.00	0.97	0.00
24DMH	0.22	0.00	0.00	0.00	3.05	0.00
25DMH	0.15	0.00	0.00	0.00	2.08	0.00
223TMP	0.04	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00
233TMP	0.22	0.00	0.01	0.00	3.08	0.00
34TMP	0.74	0.00	0.05	0.00	10.3	0.00
244TMP	2.88	0.00	0.28	0.00	39.26	0.00

Tabla 6

Flujos molares (kmol/h) de la alimentación y de los productos en la torre fraccionadora principal de la unidad de alquilación de la Refinería de Amuay para una producción de 730 kmol/h de alquilato-CASO AUMENTO DE PRODUCCIÓN

	Alimentación	Tope	Isobutano	Butano	Alquilato	Acido
Diseño	10615	2100	7915	63	730	360
Simulación	10615	2074	7919	63	730	366
%Desviación	-	1.24	0.05	0.00	0.00	1.64

Tabla 7

Capacidad actual y requerida con el aumento de la alimentación para las bombas de la unidad de alquilación (m³/h)

	Butano	Isobutano	Alquilato	HF
Capacidad actual	568	918	1294	7.95
Capacidad requerida	499	815	1248	8.2

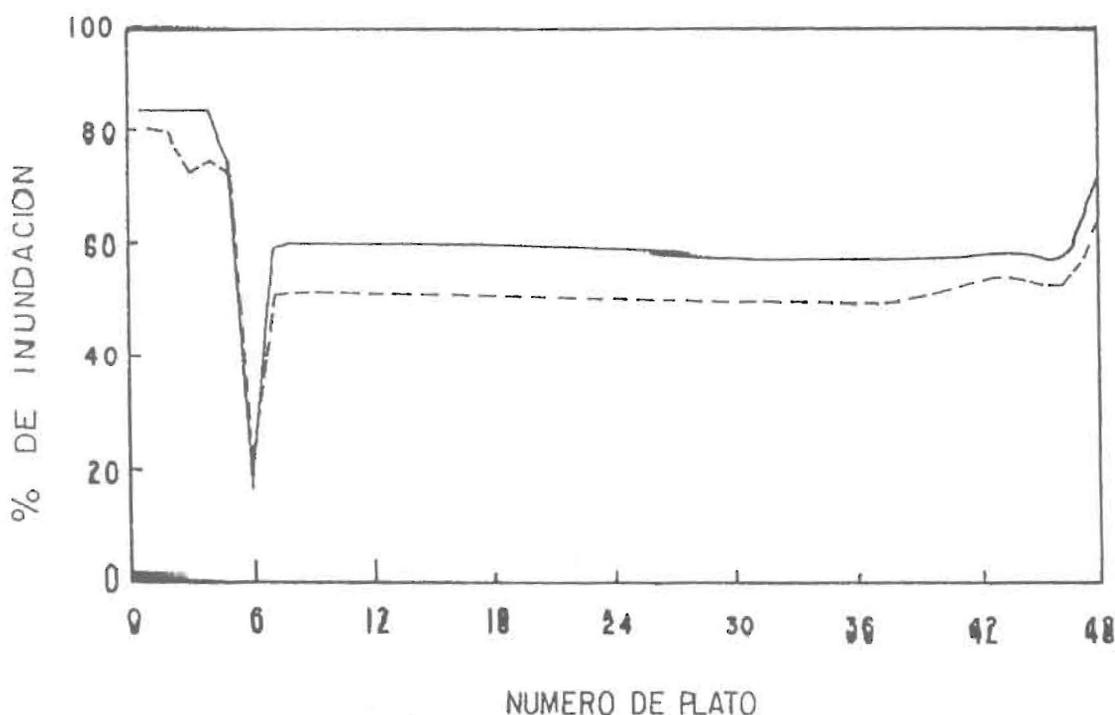


Figura 5. Curva del porcentaje de inundación en los platos del fraccionador
Caso diseño (- -), Caso carga ampliada (-).

ciones de capacidad en la bomba del producto HF ($8.2 \text{ m}^3/\text{h}$ vs $7.95 \text{ m}^3/\text{h}$).

Adicionalmente se realizó la comparación entre los porcentajes de inundación en los diferentes platos de la torre para los casos de diseño y con el aumento de carga. La Figura 5 muestra el porcentaje de inundación para los diferentes platos en ambos casos. Se observa que aunque los porcentajes de inundación son mayores con el aumento de la alimentación, sin embargo, estos son menores que 95%, máximo valor de diseño [6]. También se observa que en los primeros siete platos el porcentaje de inundación es mayor, debido a que el diámetro de esta sección (3.66 m) es menor que el diámetro de la sección inferior de la columna (7.32 m).

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

1. El programa de simulación PRO-II, con el paquete termodinámico HEXAMER, permite simular adecuadamente la fraccionadora principal de alquilación.

2. Las diferencias entre los resultados de la simulación y los datos reales de operación de la unidad fraccionadora presentan una desviación menor al 5%.

3. Los resultados de la simulación para la carga ampliada muestran que la fraccionadora de la Unidad de Alquilación puede manejar este aumento, sin presentarse ninguna limitación de proceso, excepto la capacidad de la bomba del producto HF.

Referencias Bibliográficas

1. PRO II, Keyword Input Manual, Simulation Sciences Inc., 1993.
2. Twu, C.H., Coon, J.E. y Cunnigham, J.R.; "An equation of state for hydrogen fluoride", Fluid Phase Equilibria, 86 (1993) 47-62.
3. Manual Técnico de la Unidad de Alquilación, Universal Oil Products, 1992.
4. Ayala, J., "Efecto del aumento de carga en la fraccionadora principal de la Unidad de Alquilación de la Refinería de Amuay", Tesis de Magister, División de Posgrado, Facultad de Ingeniería-LUZ, Enero, 1994.
5. Datos Operacionales de la Unidad de Alquilación, Refinería de Amuay, 1982-1992.
6. Kister, H., "Distillation Operation", McGraw-Hill, New York, 1990.

Recibido el 6 de Junio de 1995

En forma revisada el 21 de Noviembre de 1996