

ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL ACPM DE LA
UNIDAD U-2650 "UNIBON" EN CORRIDA DMO.

ALEXANDER AMADO QUINTERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2012

ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL ACPM DE LA
UNIDAD U-2650 "UNIBON" EN CORRIDA DMO.

ALEXANDER AMADO QUINTERO

Trabajo de grado en la modalidad de practica industrial, presentado para optar el
título de Ingeniero Químico

DIRECTOR:

OMAR JOSÉ GUERRA FERNÁNDEZ

Ingeniero Químico, Msc.

Tutor

YENNSY DAVIAN RAVELO ESPÍNDOLA

Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme alcanzar mis metas, a mis padres **Humberto Amado y Lair Quintero**, que me han dado la vida y me han enseñado el respeto y la humildad, a la Universidad Industrial de Santander y a los profesores de la escuela de Ingeniería Química por brindarme una formación integral.

A Ecopetrol S.A. por permitirme ser parte de esta gran empresa contribuyendo en mi formación profesional haciendo del inicio de mi vida profesional una gran experiencia.

A Calos Guillermo García, Yenny Ravelo, Vladimir Porras, Nelson Plata y a todo el grupo de operaciones del departamento de refinación de fondos por la enseñanza y colaboración durante el desarrollo de la práctica.

Al ingeniero Omar Guerra por su generosa colaboración.

A Marly Caballero y a mis amigos, en especial a Cindy y Nancy que siempre me han brindado su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS	14
1.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. ALCANCE GENERAL.....	16
4. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL	17
4.1 CONDICIONES ACTUALES DEL ACPM DE UNIBON.	19
5. SIMULACION DE LA PLANTA U-2650 “UNIBON\	23
5.1 DATOS BASE PARA LA SIMULACIÓN EN PRO II DE LA U-2650.....	23
5.1.1 MODELO TERMODINÁMICO.....	24
5.1.2 DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL.....	24
5.1.3 VALIDACIÓN DEL MODELO.....	26
6. FORMULACION Y SELECCION DE ALTERNATIVAS.....	29
6.1 ALTERNATIVAS DESDE EL PUNTO DE VISTA OPERACIONAL.....	29
6.1.1 ALTERNATIVA 1.	29
6.1.2 ALTERNATIVA 2	32
6.1.3 ALTERNATIVA 3.	35
6.2 ALTERNATIVA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE DISEÑO.....	41
6.2.1 ALTERNATIVA 4	41
7. ALTERNATIVA SELECCIONADA.	43
7.1 COMO EJECUTAR LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.	44
7.2 BENEFICIOS ESPERADOS	44
CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS.....	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones actuales de operación de la T-2652.....	18
Tabla 2. Característica de la calidad del ACPM según plan de calidad vs Calidad promedio para inicios de corrida.	19
Tabla 3. Errores en la predicción de T95%, concentración de H ₂ S y flujos para el caso base.	28
Tabla 6. Resultado de Sensibilidad en flujo de vapor de despojo	33
Tabla 7. Resultados de sensibilidad en recirculación de ACPM de la T-2653 hacia la T-2652	36
Tabla 8. Resultado de Sensibilidad para flujo de vapor con recirculación del 30% del ACPM de la T-2653 hacia la T-2652.....	37
Tabla 9. Resultado de Sensibilidad para flujo de vapor con recirculación del 60% del ACPM de la T-2653 hacia la T-2652.....	39
Tabla 10. Resultado de sensibilidad en número de platos	41
Tabla 11. Remoción de H ₂ S con recirculación e incremento en flujo de vapor de despojo.	43
Tabla 12. Beneficio Económico.....	45
Tabla 13. Assay de DMOH, DMO Y NAFTA.....	49
Tabla 14. Assay de ACPM.....	52
Tabla 15. Composición gases D-2657	53
Tabla 16. Composición gases D-2655	54

LISTA DE FIGURAS

Figura1. Diagrama de bloque de la unidad U-2650.	17
Figura 2. Caracterización de ACPM por laboratorio de refinería.....	20
Figura 3. Tendencia de la T95% del ACPM.....	21
Figura 4. Esquema del proceso simulado en PRO /II™8.3.....	25
Figura 5: Curvas de destilación de los productos de proceso UNIBON.....	26
Figura 6: Sensibilidad en temperatura de entrada al D-2651.....	31
Figura 7. Efecto del flujo de vapor sobre la concentración de H2S y flujo de ACPM	34
Figura 8. Curva de destilacion ACPM, con recirculacion de 30% y 2500lb/hr de vapor de 50#	38
Figura 9. Curva de destilacion ACPM, con recirculacion de 60% y vapor de 2500lb/hr	40
Figura 10. Tendencia de la temperatura de reacción.	57

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Caracterización ACPM, NAFTA, DMOH y GASES.....	49
ANEXO B. Desvío de ACPM hacia DMOH por baja calidad 02/06/2011	56
ANEXO C. Tendencia de la temperatura de reacción proporcionada por ajustes de la temperatura en horno H-2651	57
ANEXO D. Diagrama de flujo de proceso.....	58
ANEXO E. Tabla 17 Propiedades físicas estimadas por el modelo (caso base)...	63
ANEXO F. Condiciones de diseño de la T-2652.....	64

RESUMEN

TITULO:

ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL ACPM DE LA UNIDAD U-2650 "UNIBON" EN CORRIDA DMO*

AUTOR:

QUINTERO Alexander Amado **

PALABRAS CLAVES:

Mejoramiento, Simulación, PRO/II™8.3, DMO, ACPM, Temperatura del 95% de volumen recobrado.

DESCRIPCIÓN:

En este trabajo se realizó un estudio para el mejoramiento de la calidad del ACPM de la unidad UNIBON de la refinería de Barrancabermeja (GRB). Para ello se simuló la planta UNIBON empleando el simulador (comercial) de procesos PRO/II™8.3 para la identificación y evaluación de alternativas de mejora en la calidad de la fracción de ACPM que se obtiene en dicha planta en corridas DMO. Para llevar a cabo este proyecto se realizó el estudio de las condiciones actuales de la calidad del ACPM producto, se recopiló toda la información requerida para la simulación (Planos Mecánicos, Data Sheet, caracterización de las corrientes alimentadas y las corrientes producto del proceso etc.) y se desarrolló el modelo caso base de la planta, el cual fue validado demostrando resultados aceptables para estudios preliminares como lo es este trabajo. Por otra parte, el modelo caso base es un buen punto de partida para el desarrollo de rutinas de optimización de la planta que permitan optimizar la calidad del ACPM en la planta UNIBON.

En este estudio se evaluaron cuatro alternativas de mejora, tres de ellas desde el punto de vista operacional y una desde el punto de vista del diseño. La alternativa seleccionada (recirculación del 30 % de ACPM y aumento del vapor en la torre T-2652) mostró los mejores resultados en cuanto a reducción de la concentración de H₂S y la Temperatura del 95% del volumen recobrado, sin afectar considerablemente el rendimiento en la producción del ACPM. Finalmente, esta alternativa podría representar un beneficio económico mínimo estimado en US\$152490 /Mes.

* Proyecto de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ing. Químico, Msc. GUERRA Fernández Omar José. Tutor: Ing. Químico. RAVELO Espíndola.Yennsy Davian

ABSTRACT

TITLE:

IMPROVEMENTS IN THE QUALITY OF ACPM FROM UNIT U-2650 "UNIBON" IN DMO OPERATION *

AUTHOR:

QUINTERO Alexander Amado **

KEYWORDS:

Improvements, ACPM, UNIBON, ASTM D86 95%, PRO/II™ 8.3.

DESCRIPTION

This work deals with the improvements in the quality of ACPM from UNIBON in Barrancabermeja refinery (GRB). First, a rigorous process model was developed and validated using PRO / II™ 8.3. This model was used for the identification and evaluation of improvement opportunities. The rigorous models was based on the current operating conditions and information from process data-base, (Data Sheet, PFD, P&ID feedstock characterization etc.). The results from model validation showed that the accuracy of rigorous model predictions (product yields and properties) was appropriated for preliminary studies. In addition, this model can be used as a starting point for the development of an optimization model for the improvement in the ACPM quality.

In this study four alternatives were evaluated, including three from the operational point of view and one from the design point of view. The selected alternative (ACPM recirculation at 30 % and an increase of 2500lbs/hour of steam flow in tower T-2652) showed the best results in term of both reducing the concentration of H₂S and a lower ASTM D86 T95%, without a negative impact in the ACPM yield. This improvement can represent an increase in the economic benefit of about US \$ 152490 per month.

* Undergraduate Thesis

**Physical – Chemical Engineering College. Chemical Engineering Department. Advisors: Ing. Che. Ing. Msc. GUERRA Fernandez Omar José . Co-advisor: Che. Ing. RAVELO Espíndola Yenny Davian

INTRODUCCIÓN

Hoy día el mercado de los combustibles y en general el mercado de la industria petrolera es muy competitivo, lo cual ha generado un creciente interés de las compañías petroleras por la optimización de cada una de las etapas de su negocio (exploración, producción, refinación y comercialización). En el caso de refinación, podemos encontrar diversas aplicaciones de técnicas de optimización y/o simulación a problemas operacionales, logísticos, programación de la producción y planeación de la producción [1,2,3,4,5]. Estos trabajos han demostrado que el uso de las técnicas de optimización en la operación de refinerías puede traer beneficios económicos del orden de millones de dólares por año, lo cual justifica la inversión en personal capacitado, software y hardware que pueda ser requerido para la realización e implementación de estudios de este tipo.

La planta UNIBON juega un papel muy importante en la refinería de Barrancabermeja dado que en ella se mejoran las propiedades (mediante el tratamiento con hidrogeno) de fracciones pesadas (ACPM y DMO-Aceite Desmetalizado). La planta UNIBON en corrida de DMO produce en promedio 21000 BPD de DMOH (Aceite Desmetalizado Hidrogenado), 100 BPD de NAFTA y entre 700 y 1500 BPD de ACPM el cuál durante el inicio de corrida es enviado como diluyente ó con el DMOH debido a que no cumple las especificaciones de calidad establecidas en el **plan de calidad para la producción de diesel de la refinería**. Las especificaciones de calidad permiten decidir la viabilidad para que el ACPM producto sea enviado hacia *Blending* (sistema de mezclado) donde es vendido como ACPM a un precio de 122.5US\$/B ó ser enviado como diluyente (Aceite Liviano de de ciclo - ALC) a 114US\$/B y en el peor de los casos ser enviado con el DMOH producto de la planta por pésima calidad, vendiéndose a un precio de 98.3US\$/B, lo cual representa un margen de 8.5 US \$/B en el caso del envío a diluyente y 24.2 US\$/B en el caso del envío al DMOH. Esto hace

necesario un estudio que permita identificar posibles mejoras (tanto desde el punto de vista operacional como de diseño) para garantizar una buena calidad del ACPM proveniente de la UNIBON y con ello evitar posibles pérdidas económicas en la refinería por una mala calidad del ACPM de dicha unidad.

En este trabajo se empleó el software simulador de procesos **PRO/II™8.3** de **SimSci-Esscor** para simular la planta UNIBON de la refinería de ECOPETROL en Barrancabermeja, con el fin de identificar oportunidades de mejora desde el punto de vista operacional y de diseño, que ayuden en la recuperación de un ACPM de mejor calidad desde inicios de corrida de la unidad.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar las especificaciones de calidad del ACPM producto de UNIBON desde el inicio de corrida de la unidad sin afectar considerablemente la producción del mismo.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Conocer el objetivo de los procesos de la planta UNIBON, su interrelación con otras unidades de la refinería, y su importancia para la gerencia de la refinería de Barrancabermeja ECOPELROL S.A
- ❖ Conocer los parámetros de calidad de la materia prima y los productos de la planta UNIBON, así como las condiciones de operación y el principio de las operaciones unitaria que allí se realizan.
- ❖ Realizar recopilación de información: Data Sheet, Planos Mecánicos, Caracterización de los productos de la planta y verificación de información en campo de las líneas y los equipos de la planta.
- ❖ Utilizar la herramienta de simulación PRO/II™8.3 para identificar oportunidades de mejora en la calidad del ACPM desde el punto de vista operativo y desde el punto de vista del diseño de la torre despojadora con vapor T-2652.
 1. Evaluar el beneficio de las alternativas identificadas.

2. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto tiene como justificación principal, el mejoramiento de la calidad del ACPM de la U-2650, en cuanto al contenido de H₂S y la temperatura del 95% del volumen recobrado (T95%), para una recuperación total desde inicios de corrida, con un beneficio económico estimado en US\$152490 /Mes cuando la producción de ACPM sea la más baja posible (728 BPD).

Un diesel de mejor calidad requiere menos empleo de correctores en el *Blending*, para entrar en especificaciones, disminuyendo de esta manera los costos de producción del producto terminado.

3. ALCANCE GENERAL

Este trabajo suministra la información de las actividades a realizar en el departamento de refinación de fondos para el desarrollo y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

- ❖ Planteamiento del problema
- ❖ Identificación de alternativas mediante simulación en **PRO/II™8.3**
- ❖ Evaluación de alternativas.
- ❖ Selección de la mejor alternativa.

condiciones actuales de operación se pueden ver en la tabla 1:

Tabla 1. Condiciones actuales de operación de la T-2652.

Temp. Cima (°F)	Temp. Fondo (°F)	P (PSIG)	Q. DMOH (BPD)	Temp. DMOH (°F)
638	639	13	18892	639

Fuente: El autor

La carga de DMOH a la T-2652 proviene del fondo del D-2654 de la sección de separación a baja presión, la cual pasa por los E-2654 para ceder su energía (en forma de calor) hacia el DMO cargado en la planta UNIBON. El DMOH con arrastre de productos livianos, entra a la T-2652 por encima del plato No.5 y son despojados en la torre utilizando vapor de 50 psig y 307°F que entra por el plato No.1. La composición del producto liviano que se despoja en la torre, tiene propiedades típicas del ACPM (punto final, punto de chispa etc.) por lo que es enviado hacia la torre rectificadora T-2653 de la sección de fraccionamiento para su recuperación.

A la T-2653 llega el ACPM despojado en la T-2652 y el ACPM de alto azufre separado en los separadores D-2655 y D2656 de la sección de separación (Aproximadamente: 500 BPD en total). Estas corrientes se mezclan y entran a la torre a una temperatura de 528°F, para rectificarse en la sección de fraccionamiento por medio de calentamiento a 540°F en el horno H-2652 (Ver diagrama Anexo 4), en la cima de la torre se separa un producto liviano (Aprox: 100 BPD de Nafta) y por el fondo de la misma se produce el ACPM de la unidad (entre 700 - 1500 BPD de ACPM.)

4.1 CONDICIONES ACTUALES DEL ACPM DE UNIBON.

Desde el 2006, año en que se empezó a alinear el ACPM de UNIBON hacia *Blending*, se realiza un monitoreo constante de la calidad de este producto, y se observa que generalmente se encuentra por fuera de especificaciones de calidad (ver tabla 2), siendo más evidente a principios de corrida (primeros 3 meses de una corrida normal que dura 10 meses), trayendo como consecuencia que el mismo sea desviado hacia la corriente de DMOH producto, el cual es un producto de menor valor que requiere ser procesado en otras unidades antes de ser alineado al Blending, Los parámetros de calidad que comúnmente están por fuera de especificaciones son: temperatura del 95% de volumen Recobrado (T95%), color y corrosión.

Tabla 2. Característica de la calidad del ACPM según plan de calidad vs Calidad promedio para inicios de corrida.

Parámetro	Unidades	Valor establecido según plan calidad	Valor promedio en inicios corrida 2011
Punto final de ebullición del Diesel en cabezal de diesel regular.	°F	663 Max	754
Temperatura 95% volumen recobrado	°F	698 Max	752
Color ASTM final		3 Max	7.0
Azufre	%masa	0.2 Max	0.108
Reflectancia	%	75 Min	86.6
Corrosión lamina de cobre		1A-1B	1A

Fuente: El autor

Un resultado típico de laboratorio puede ser observado en la Figura 2.

En el laboratorio de la refinería, la temperatura del 95% del volumen recobrado que de ahora en adelante llamaremos (T95%), se determina cuantitativamente

bajo la norma ASTM D86 y según el plan de calidad para la producción de ACPM, se espera que se encuentre alrededor de 698°F, para que el ACPM proveniente de la T-2653 pueda ser alinearlo al cabezal de ACPM regular.

Por otra parte el color se determina mediante un análisis cualitativo bajo la norma ASTM D-1500 donde la muestra se compara visualmente con patrones para obtener un resultado en una escala que va desde 0 hasta 8 en intervalos de 0.5 siendo 8 el nivel más alto y más oscuro; un color mayor a 3.0 indica que el ACPM está fuera de especificaciones.

La prueba de corrosión se realiza bajo la norma ASTM D-130. Dicha prueba es un análisis cualitativo en el que se compara una lámina de cobre previamente sumergida en una muestra de ACPM con unos patrones que tienen la siguiente escala: 1A-1B-2A-2B-2C-2D-2E-3A-3B-4A-4B-4C, valores mayores o iguales a 2A, se consideran altos.

Figura 2. Caracterización de ACPM por laboratorio de refinería

MUESTRAS DE RESULTADOS DE ANALISIS
eccPETROL

RESULTADOS DE LA MUESTRA

Permitir paginación

ID Muestra : 202114427

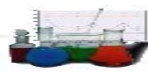
Fecha : 05/09/2007 05:38:06 a.m.

Id Muestra USR : 2650-6 ACPM

Texto :

Muestra : 2650-6 ACPM

Producto : DIESEL CORRIENTE (ACPM)

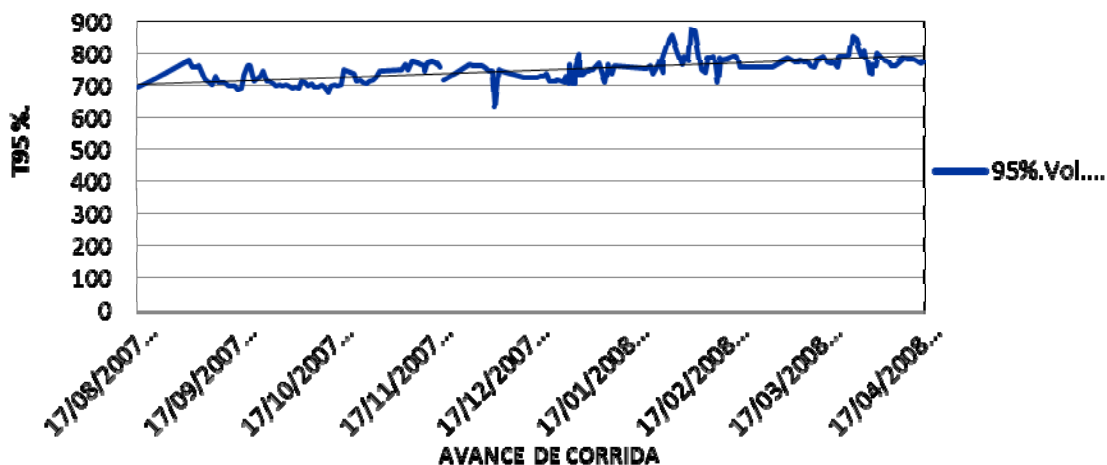


Componente	Resultado	Unidad	Limit
PTO INICIAL DE EBULLICION	404.4	°F	N/A
PTO INICIAL DE EBULLICION	206.9	°C	N/A
5% vol. RECOBRADO	437.2	°F	N/A
5% vol. RECOBRADO	225.1	°C	N/A
10% vol. RECOBRADO	453.2	°F	N/A
10% vol. RECOBRADO	234	°C	N/A
50% vol. RECOBRADO	543.0	°F	N/A
50% vol. RECOBRADO	283.9	°C	N/A
90% vol. RECOBRADO	738.6	°F	N/A
90% vol. RECOBRADO	392.6	°C	N/A
95% vol. RECOBRADO	752.2	°F	N/A
95% vol. RECOBRADO	405.7	°C	N/A
PTO FINAL DE EBULLICION	778.6	°F	N/A
PTO FINAL DE EBULLICION	414.8	°C	N/A
COLOR ASTM	3.5	CLASIFICACION	N/A
PAD RATING FINAL	2	N/A	N/A
COLOR ASTM FINAL	5.5	CLASIFICACION	N/A
REFLECTANCIA	91.7	%	N/A

Fuente: CDLAB

La T95%, sirve como parámetro para identificar que tan liviano o pesado es el ACPM de la unidad. Los resultados de laboratorio muestran variaciones de este valor en las corridas con DMO. Este parámetro generalmente se encuentra por fuera de especificaciones con temperaturas entre 696°F y 900°F (ver figura 4). Sin embargo, aunque se encuentre por fuera de especificaciones, en algunas ocasiones es enviado al *Blending* dado que su flujo es relativamente pequeño y los demás parámetros de calidad no están tan desviados de los establecidos, por lo que se mezcla con ACPM de mejor calidad para mejorar su T95% o corrosión, según sea el caso.

Figura 3. Tendencia de la T95% del ACPM



Fuente: El autor

La tendencia anterior podría guardar relación con el incremento en la temperatura del horno H-2651 ubicado en la sección de reacción antes de los reactores R-2651 y R-2652. Este incremento de la temperatura es necesario para compensar la pérdida de actividad del catalizador durante el transcurso de corrida, permitiendo mantener las remociones de azufre, carbón y metales durante los periodos de

corrida. En el Anexo 3 se muestra la gráfica que relaciona el incremento de la temperatura a la salida del H-2651 vs tiempo de corrida, las altas temperaturas promueven la separación de hidrocarburos pesados que se van con los livianos por la cima del separador caliente D-2651 y el tambor flash D-2654, esta mezcla de hidrocarburos llega finalmente a rectificarse en la torre T-2653 (ver diagrama de flujo de proceso Anexo 4), obteniéndose un ACPM con una T95% mayor.

5. SIMULACION DE LA PLANTA U-2650 “UNIBON”

5.1 DATOS BASE PARA LA SIMULACIÓN EN PRO II DE LA U-2650.

La simulación de UNIBON, se basó en información de laboratorio, planos mecánicos, Data Sheet, manuales de la planta (Control, operación y seguridad) y levantamiento de información de campo.

Cuando se simula un proceso que involucre petróleo o fracciones de este, es necesario conocer o estimar las propiedades del mismo [6]. La determinación exacta de la composición de una corriente de hidrocarburos como por ejemplo el DMOH, no es posible debido a la enorme cantidad de componentes que integran la mezcla. En su lugar una práctica generalizada es caracterizar el hidrocarburo por medio de una curva de destilación TBP (temperatura frente a porcentaje acumulado del líquido destilado), curvas de distribución de propiedades (ejemplo: curva de distribución de azufre) y propiedades globales (ejemplo: densidad API, viscosidades etc.) estimadas mediante procedimientos estandarizados por las normas ASTM.

La curva de destilación TBP y la composición de los gases de las corrientes alimentadas al proceso, son los resultados de laboratorio para las muestras tomadas del monitoreo realizado por el ICP en marzo de 2011, para el ACPM, NAFTA, DMOH y GASES que se producen en la U-2650.

Las tablas 14 y 15 en el anexo 1, muestran los datos Assay del ACPM, NAFTA, DMOH y las composiciones de los gases, empleados como datos de entrada para la simulación. Los flujos de las corrientes de alimentación corresponden a valores promedios filtrados para el mes de marzo de 2011.

5.1.1 Modelo Termodinámico

La selección del paquete termodinámico es un aspecto clave en la simulación de un proceso químico mediante un simulador riguroso como el HYSYS, PRO II, Aspen Plus, etc., dado que el uso de un paquete termodinámico inadecuado para las especies químicas que componen las corrientes de proceso puede implicar una baja confiabilidad en los resultados de la simulación. Algunos trabajos [7,8] proponen reglas o estrategias para la selección del paquete termodinámico a ser usado en el simulador riguroso. En este trabajo se seleccionó como modelo termodinámico la ecuación de estado de *Grayson-Streed*. Este modelo da buenos resultados en la simulación de mezclas de hidrocarburos para temperaturas entre 60 y 800 °F y presiones de hasta 3000 psig. Aunque debe usarse con precaución para presiones superiores de 600 psig y temperaturas por debajo de 60°F [9].

5.1.2 Desarrollo del Modelo Conceptual

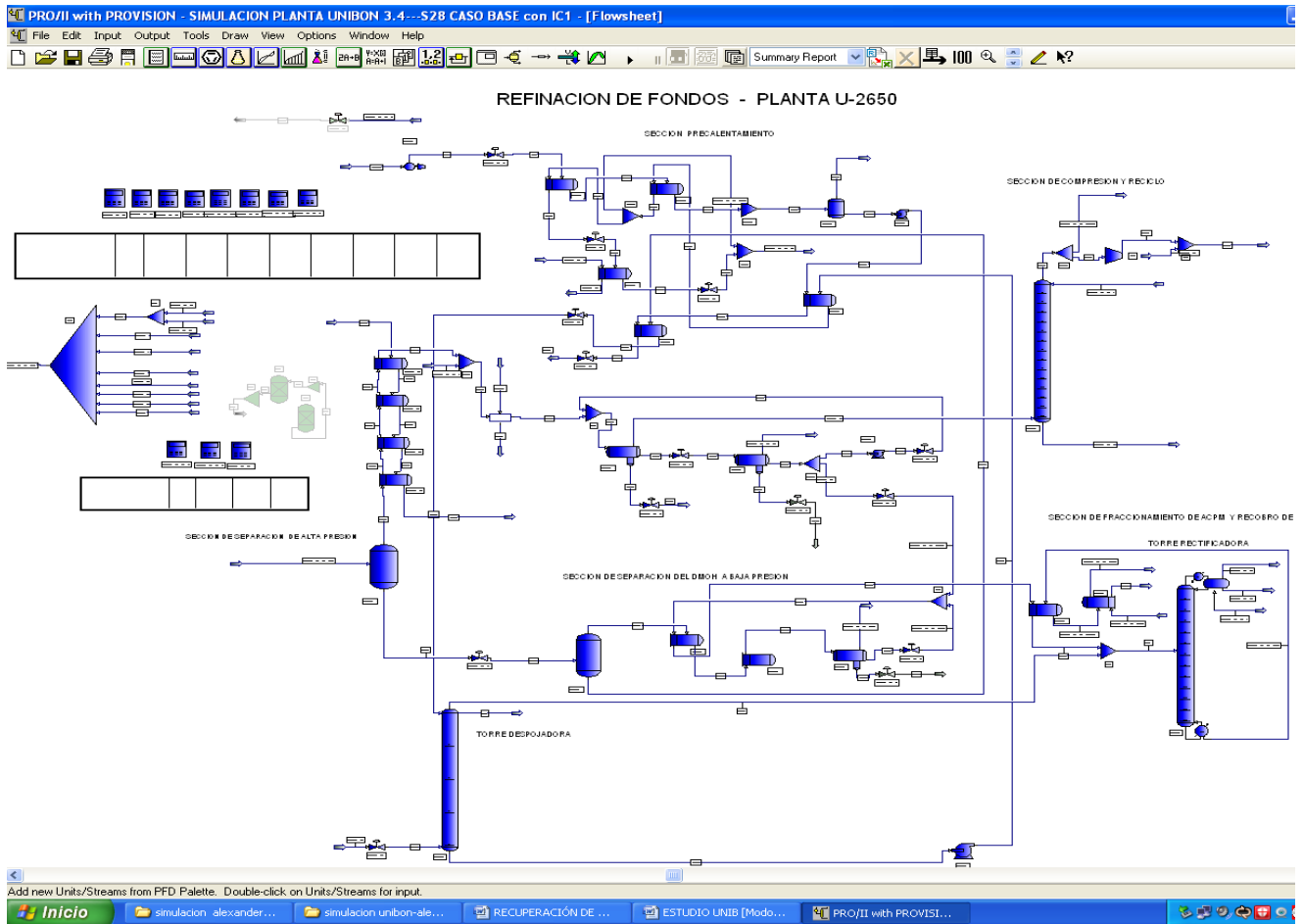
La simulación se inició con la construcción del modelo conceptual en el simulador **PRO/II™8.3** de **SimSci-Esscor®** (Ver diagrama de proceso figura 4). El modelo incluye todas las secciones y equipos del proceso con excepción del sistema de reacción (R-2651 y R-2652) del cual no se tiene conocimiento de la cinética de las múltiples reacciones que allí ocurren, por esta razón se realizó la reconstitución de la corriente que sale de los reactores a partir de las corrientes producto de la planta.

Una vez construido el modelo conceptual en estado estacionario (caso base), se realizó el ajuste apropiado para que el modelo simule con la mayor exactitud posible el desempeño del proceso ante diferentes condiciones operativas. El ajuste se realizó utilizando datos de campo, información disponible en las bases de datos y demás herramientas virtuales de la refinería (PI, CDLAB y RIS.)

Con el modelo conceptual ajustado al mayor nivel de exactitud posible, se procede a la realización del análisis de sensibilidad sometiendo el proceso a perturbaciones en sus principales variables de operación con el objetivo de

evaluar el comportamiento de la unidad ante dichas perturbaciones y poder identificar alternativas de mejora en sus variables de salida, T95%, %H2S y rendimiento del proceso para la producción de ACPM.

Figura 4. Esquema del proceso simulado en PRO /II™8.3



Fuente: El autor

5.1.3 Validación del Modelo

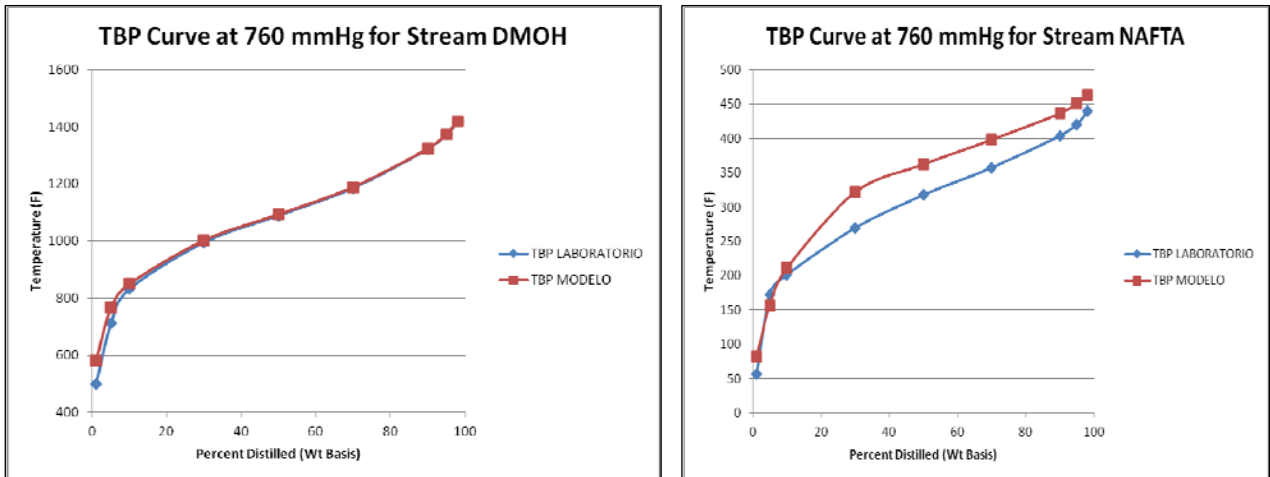
El desarrollo de la simulación a partir de la curva de destilación, permite representar las corrientes alimentadas al proceso a través de pseudocomponentes para los cuales las propiedades termofísicas necesarias, pueden ser inferidas por el simulador basado en la curva TBP y la gravedad API.

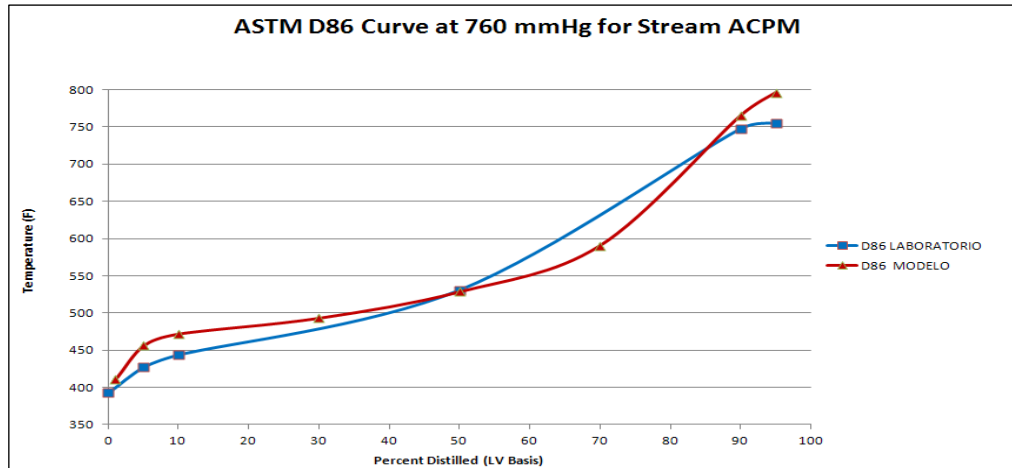
Esta información junto con la composición de los gases se usó para representar la corriente de reconstitución y una vez desarrollado y ajustado el modelo fueron estimadas con PROII para verificar la máxima reproducibilidad de los datos de laboratorio y de campo.

En el Anexo 5 se muestran algunas propiedades físicas estimadas por el modelo para los productos de la planta y se comparan con los datos suministrados a la corriente de reconstitución.

Los resultados representados en la figuras 5 permiten validar el modelo con una buena representación de las curvas de destilación experimentales para el DMOH, NAFTA y ACPM.

Figura 5: Curvas de destilación de los productos de proceso UNIBON





Fuente: El autor

Los resultados presentan cierto grado de desviación respecto a los valores experimentales, las desviaciones tienen relación con las aproximaciones que por defecto se generan cuando se crean los pseudocomponentes, que representarían los miles de componentes reales presentes en el hidrocarburo.

En la tabla 3 se muestran los errores absolutos en la predicción de la temperatura del 95% del volumen recuperado (T95%), concentración de H₂S y flujos por parte del modelo.

Tabla 3. Errores en la predicción de T95%, concentración de H2S y flujos para el caso base.

PARÁMETRO	UNIDADES	ACPM		DMOH		NAFTA	
		EXPER.	MODELO	EXPER.	MODELO	EXPER.	MODELO
Temperatura 95%	°F	754.70	795.60	1373.53	1374.72	420.63	451.44
Error (abs)	%	5.14		0.087		6.73	
H2S	ppm	No data	0.0004	No data	11.62	544.22	578.06
Error (abs)	%	-		-		5.85	
Flujo	BPD	659.13	769.29	18892.	18503.8	91.53	99.51
Error (abs)	%	14.31		2.10		8.02	

Fuente: El autor

De la búsqueda de información realizada en centro de datos de laboratorio CDLAB de la refinería, no se encontró data de los niveles de H2S en ACPM y DMOH a principios de corrida, por tal razón se omite la estimación del error en contenido de H2S para estas corrientes de proceso.

A pesar de las desviaciones del modelo respecto al dato experimental, el modelo representa las tendencias generales del proceso, lo cual es muy útil desde el punto de vista de evaluación de alternativas y estudios preliminares. Por otro lado, los simuladores comerciales como el PRO II suelen presentar este tipo de desviaciones dada la complejidad del proceso que se está simulando y de las aproximaciones que se hacen dada la falta de información de caracterización de las corrientes.

6. FORMULACION Y SELECCION DE ALTERNATIVAS

El desarrollo de las alternativas comprende el análisis de sensibilidad mediante la herramienta de simulación PRO II, partiendo del modelo (caso base), el cual permite predecir las tendencias sobre calidad de los productos de la unidad, al ajustar ciertas variables manipuladas, modificar el diseño de las torres ó implementar nuevas corrientes de proceso.

6.1 ALTERNATIVAS DESDE EL PUNTO DE VISTA OPERACIONAL

6.1.1 ALTERNATIVA 1.

Disminución de temperatura del DMOH a la entrada del separador D-2651 hasta una Temperatura promedio de 670°F.

- **SENSIBILIDAD EN TEMPERATURA DE ENTRADA A D-2651**

En el D-2651 ó “separador caliente a alta presión” se separan los gases (H₂S y H₂) del DMOH provenientes del sistema de reacción, las variables de operación de dicho proceso son las siguientes.

Tabla 4. Condiciones del DMOH al D-2651

Variable de operación	Rango de operación normal	Consideraciones
Temperatura a la entrada del D-2651	600°F- 800°F	Altas temperaturas: Menor separación de H2 del DMOH, mas producción de ACPM, riesgo de arrastre de ACPM, hacia sistema de MEA. Baja temperatura: Alto nivel en D-2651 por alta viscosidad, escape por expansión térmica en intercambiadores E-2655.
Presión del DMOH de entrada al D-2651	1500-1650 psig	Altas presiones: Disminución del rendimiento en producción de ACPM Bajas presiones: Riesgo de arrastres de un ACPM pesado hacia el sistema de separación a baja presión
Flujo de DMOH	18900-22000 BPD	Mayor flujo: mayor producción de ACPM.

Fuente: El autor

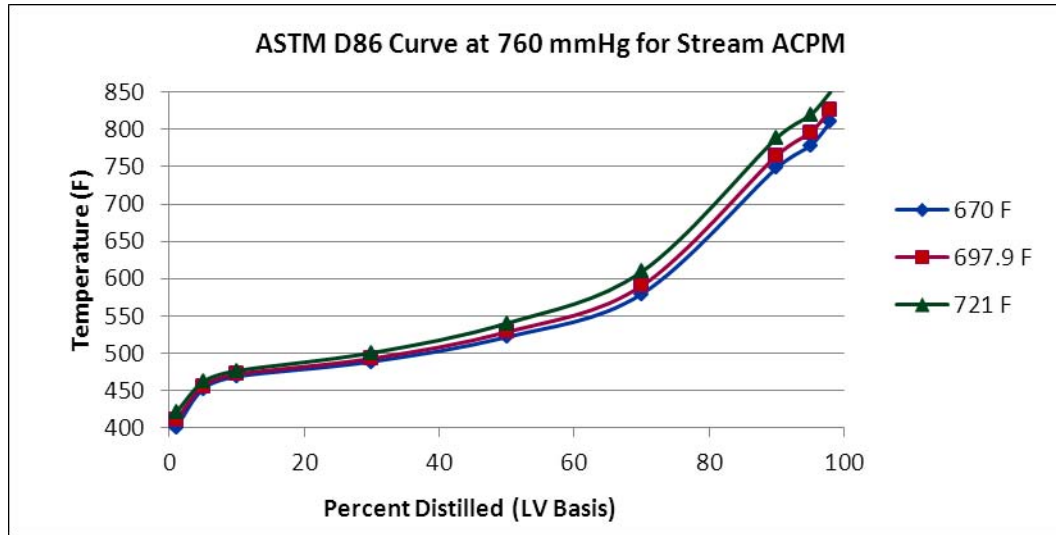
Lograr mantener temperaturas por debajo de 697.9°F que es la temperatura de promedio del DMOH a la entrada al D-2651, mejoraría significativamente la curva de destilación (figura 6), y puede lograrse con la ayuda del *quenck* (corrientes de H2 para enfriamiento brusco), a la salida del rector R-2652, el flujo de H2 a través del *quenck* actualmente está en 3676 KPCED y puede variar entre los 1000 y 12000 KPCED, su baja temperatura (168°F) enfriaría el DMOH, obteniéndose menos vapores de pesado y por ende mejor T95% del ACPM, como lo muestra la tabla 5.

Tabla 5. Resultado de sensibilidad en temperatura del DMOH de entrada D-2651

TEMPERATURA(°F) DE DMOH ENTRADA A D-2651	DMOH				ACPM				NAFTA			
	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT(°F)	FLUJO EN (BPD)	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT	FLUJO EN (BPD)	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT (°F)	FLUJO EN (BPD)
721	1306,09	0,00	338,13	18357,25	818,99	10,69	191,32	825,20	426,98	516,04	20,94	100,82
700	1305,98	0,00	324,62	18488,29	797,73	11,56	187,49	776,89	422,33	573,83	4,79	99,54
697,9	1305,96	0,00	322,89	18503,88	795,60	11,62	187,11	769,29	422,29	578,06	4,78	99,51
680	1305,87	0,00	311,89	18605,12	783,78	11,84	184,95	734,08	421,36	605,29	4,71	99,20
675	1305,85	0,00	309,27	18629,74	781,11	11,87	184,47	727,18	421,01	613,48	4,68	99,10
670	1305,83	0,00	306,27	18657,49	778,06	11,89	183,91	716,85	420,78	622,36	4,66	99,02

Fuente: El autor

Figura 6: Sensibilidad en temperatura de entrada al D-2651



Fuente: El autor

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ALTERNATIVA.

VENTAJAS

- ❖ La disminución de la temperatura en la entrada del D-2651 hasta 670°F mejorará la T95% del ACPM en 17°F respecto al caso base.

DESVENTAJAS

- ❖ Disminución del rendimiento en la producción de ACPM, se producen 52.44 BPD menos de ACPM.
- ❖ Consumo de más 8000 KPCED de H₂ para lograr disminuir la temperatura en la entrada del D-2651 en tan solo 12°F, afectando la relación de hidrogeno/carga en el sistema de reacción, ocasionando problemas de coquizado en los catalizadores.
- ❖ Tendencia hacia un ligero incremento de la acidez por altos niveles H₂S en el ACPM y la NAFTA (Tabla 4)

6.1.2 Alternativa 2

Incremento del flujo de vapor de despojo en torre T-2652

SENSIBILIDAD EN FLUJO DE VAPOR DE DESPOJO

El despojo con vapor en la T-2652 es un proceso físico en el que se logran remover los componentes más volátiles de la mezcla de DMOH con bajas presiones, altas temperaturas y la inyección de gas inerte (vapor de despojo), la razón principal para usar vapor es incrementar el contacto vapor-líquido y disminuir la concentración de livianos en fase vapor sobre cada plato, en la fase vapor, la concentración total (C_T) se define como [10]:

$$C_T = C_{\text{livianos}} + C_{\text{vapor}} \text{ (fase vapor)} \quad (\text{Ec.1})$$

Una cantidad de vapor se adiciona de tal manera que el sistema no pueda alcanzar el equilibrio y ocurra la transferencia de masa de la fase líquida a la fase vapor, en este punto juega un papel importante la presión parcial de las sustancias. Para una mezcla de hidrocarburos y vapor de agua, la presión parcial del hidrocarburo se mide como:

$$\text{Presión Parcial de Hidrocarburo} = \text{Presión Total} \times \frac{\text{Moles de HC en Gas}}{\text{Moles Totales de Gas (HC + Vapor)}} \quad (\text{Ec. 2})$$

En la T-2652 se inyecta vapor para reducir la presión parcial de los hidrocarburos más livianos y promover su despojo de la corriente de DMOH.

Las condiciones del vapor de despojo son las siguientes:

- ❖ **Flujo (lb/hr)** 800-2500
- ❖ **Temperatura(°F)** 307
- ❖ **P(psig)** 50

En promedio el flujo de vapor es de 1357.7lb/hr y es la única variable manipulada de esta corriente.

Tabla 6. Resultado de Sensibilidad en flujo de vapor de despojo

FLUJO DE VAPOR DE 50# (lb/hr)	ACPM			NAFTA			GASES D-2657	
	T95%.(°F)	H2S (PPM)	FLUJO EN (BPD)	T95%.(°F)	H2S (PPM)	FLUJO EN (BPD)	H2S (PPM)	FLUJO EN (BPD)
2500	799,07	7,49	903,83	415,37	577,12	98,91	41547,06	118,07
2357,7	798,56	7,83	888,85	415,87	577,03	98,96	41575,28	118,01
2157,7	797,88	8,35	866,98	416,83	576,93	99,03	41624,73	117,90
1957,7	797,21	8,97	844,08	417,92	576,89	99,12	41690,95	117,75
1757,7	796,60	9,69	820,15	419,16	576,98	99,23	41782,54	117,56
1557,7	796,13	10,54	798,38	420,35	577,46	99,30	41895,70	117,32
1357,7	795,60	11,62	769,29	422,29	578,06	99,51	42115,87	116,87
1157,7	794,96	12,95	740,31	424,33	579,56	99,72	42432,56	116,23
957,7	794,58	14,65	711,10	426,68	582,69	99,99	42962,41	115,20
757,7	794,24	16,92	679,73	429,07	589,02	100,35	43903,91	113,43
557,7	794,00	20,14	645,86	431,38	602,09	100,85	45698,77	110,28
357,7	793,92	25,23	608,11	434,74	630,13	101,60	49472,77	104,41
157,7	794,22	34,93	564,16	444,14	693,36	102,93	58757,05	93,09
57,7	794,42	41,54	541,32	451,38	746,04	103,91	67519,41	83,16

Fuente: El autor

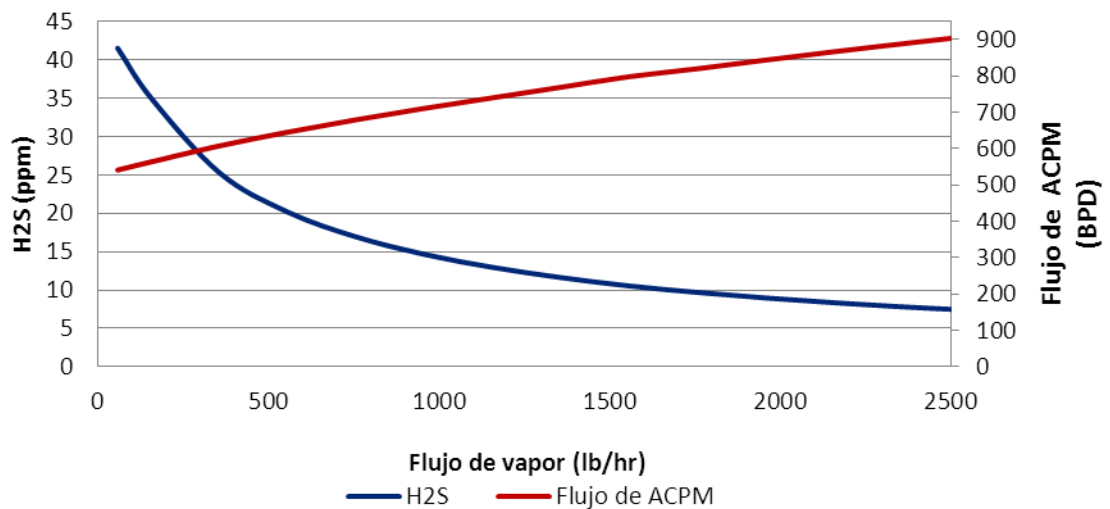
El incremento del flujo de vapor de 50# facilita el despojo de componentes presentes en la corriente de DMOH, debido a la disminución de la presión parcial de ciertas fracciones pesadas.

El flujo de ACPM producto indica una alta sensibilidad al incremento en el flujo de vapor, el flujo puede aumentar en un 2.9% por cada 200lb/hr más de vapor suministrado, aumentando también su T95% al despojar ciertas fracciones pesadas.

Las concentraciones de H₂S decrecen al maximizar el flujo de vapor, aumentando el pH de los productos, lo que mejora el control de la corrosión, ayudando a la protección de los equipos.

Menos vapor producirá un ACPM más liviano, pero con mayor corrosión, mientras que más vapor produce el efecto contrario.

Figura 7. Efecto del flujo de vapor sobre la concentración de H₂S y flujo de ACPM



Fuente: El autor

La grafica 7 muestra que en situaciones de altos niveles de corrosión ocasionada por H₂S la mejor acción recomendada es incrementar del flujo de vapor, tomando precaución de mantener la T95% en un nivel aceptable, por lo que se debe hacer

un monitoreo constante de la calidad del ACPM.

La corrosión puede disminuir en más de un 35% al incrementar el flujo de vapor de 1357 lb/hr (flujo actual) a 2500lb/hr permitidos.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ALTERNATIVA.

VENTAJAS

- Mejoramiento de los niveles de H₂S del ACPM producto.
- Incremento en el rendimiento, el flujo de ACPM aumenta en un 17% cuando se suministran 2500lb/hr de vapor.

DESVENTAJAS

- ❖ Obtención de un ACPM con una destilación más alta por despojo de fracciones pesadas. La T_{95%} puede aumentar en 5°F cuando el flujo de vapor alcanza las 2500lb/hr.

6.1.3 ALTERNATIVA 3.

Recirculación de una fracción de la corriente del ACPM producto, hacia la T-2652 e incremento del flujo de vapor en la torre despojadora.

SENSIBILIDAD EN RECIRCULACIÓN DE ACPM

Con el fin de manejar una baraja de posibilidades se estudia mediante la simulación la propuesta de recircular una fracción del ACPM, de la torre T-2653, hacia la torre T-2652. Primero se simularon todos los escenarios posibles de recirculación, hacia la entrada de la torre despojadora para evaluar su efecto sobre las variables de salida de interés, y luego se hizo un análisis de los mejores escenarios, los resultados se presentan en tabla 7.

Tabla 7. Resultados de sensibilidad en recirculación de ACPM de la T-2653 hacia la T-2652

FRACCIÓN RECICLO	DMOH				ACPM				NAFTA			
	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT(°F)	FLUJO EN (BPD)	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT	FLUJO EN (BPD)	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT (°F)	FLUJO EN (BPD)
0	1305,9615	0,00	322,89	18503,88	795,60	11,62	187,11	769,29	422,29	578,06	4,78	99,51
0,1	1305,9167	0,00	315,51	18555,41	791,71	11,46	186,55	717,71	421,10	578,73	4,76	99,37
0,3	1305,8215	0,00	300,48	18666,26	782,66	11,09	185,35	606,91	418,22	580,18	4,74	99,08
0,6	1305,6548	0,00	273,30	18865,75	763,77	10,33	182,87	407,04	413,85	582,50	4,68	98,59
0,9	1305,434	0,00	241,41	19141,06	730,32	8,87	178,00	130,35	408,78	585,32	4,72	97,95

Fuente: El autor

Se resalta una disminución evidente en la T95% del ACPM al pasar de 795.6 °F (caso base) a 782.6 y 763.7°F, cuando la fracción recirculada es de 0.3 y 0.6 respectivamente, también se ven afectados los flujos de los productos, disminuyendo el rendimiento ya que se obtiene menos flujo de ACPM.

Según el análisis de sensibilidad, parte del ACPM que es recirculado se está yendo con el DMOH producto, por este motivo debe tenerse en cuenta un incremento del flujo de vapor para recuperar el rendimiento, obtener menores niveles de H2S y mejorar la T95%.

El flujo de vapor está limitado por la capacidad de la bomba P-2669, para mantener el nivel del condensado en el tambor D-2657, El máximo flujo que puede manejar la bomba está por el orden de los 5 gpm, por lo que el flujo máximo de vapor que puede entrar a la torre T2652, está alrededor de 2500lb/hr.

SENSIBILIDAD PARA FLUJO DE VAPOR CON RECIRCULACIÓN DEL 30% DEL ACPM DE LA T-2653 HACIA LA T-2652.

Tabla 8. Resultadode Sensibilidad para flujo de vapor con recirculación del 30% del ACPM de la T-2653 hacia la T-2652.

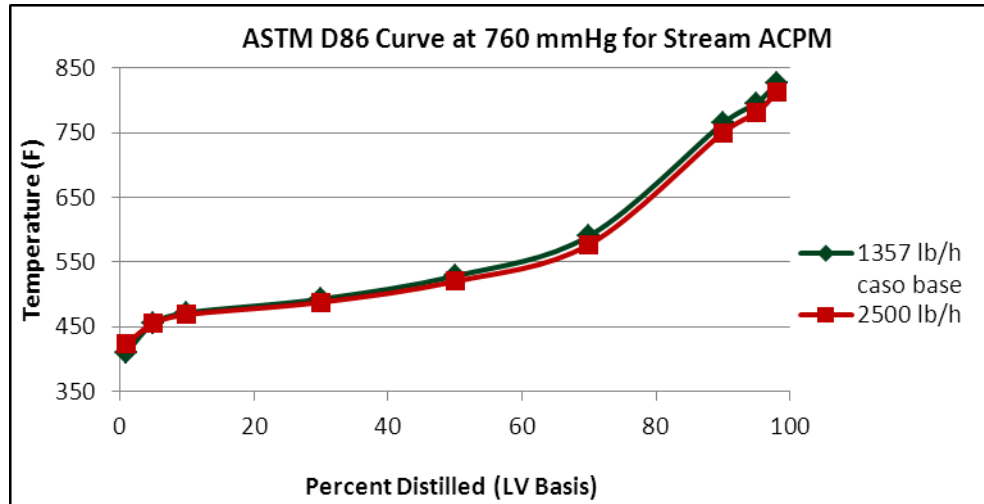
FLUJO DE VAPOR 50# (lb/hr)	DMOH				ACPM				NAFTA			
	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT (°F)	FLUJO EN (BPD)	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT	FLUJO EN (BPD)	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT (°F)	FLUJO EN (BPD)
1357.7	1305,82	0,00	300,48	18666,26	782,66	11,09	185,35	606,91	418,22	580,18	4,74	99,08
1757.7	1305,87	0,00	309,76	18614,42	781,59	9,21	186,71	658,76	415,20	579,04	4,70	98,84
2357.7	1305,93	0,00	322,47	18545,16	780,81	7,43	188,39	728,35	413,68	578,86	4,67	98,63
2500	1305,94	0,00	325,10	18530,07	780,76	7,12	188,77	743,50	413,42	578,89	4,66	98,60

Fuente: El autor

Los resultados de la sensibilidad (tabla 8) muestran que la recirculación de un 30% y un incremento del flujo de vapor a 2500lb/hr mejora la T95% del ACPM reduciéndose en 15°F y por ende una destilación mas baja (Figura 8), con respecto al caso base, también se reduce la concentración del H2S ACPM en más del 38% y el flujo de ACPM producto disminuye en tan solo el 3.3%.

De otra parte también se muestran cambios en la calidad de la nafta, que aunque no son tan altos como los del ACPM si son significativos ya que la calidad se mejora (ver tabla 8).

Figura 8. Curva de destilacion ACPM, con recirculacion de 30% y 2500lb/hr de vapor de 50#



Fuente: El autor

SENSIBILIDAD PARA FLUJO DE VAPOR CON RECIRCULACIÓN DEL 60% DEL ACPM DE LA T-2653 HACIA LA T-2652.

Los resultados de la tabla 9 muestran que la recirculación del 60% del ACPM mejora la calidad del ACPM de la torre T-2653, incluso con una T95%, por debajo de los 773°F que tiene la mezcla del ACPM de D-2655 y D-2656 en el caso base. Respecto al caso base se logra una disminución 45°F en el punto final y se alcanza una reducción del 44% en la concentración de H2S.

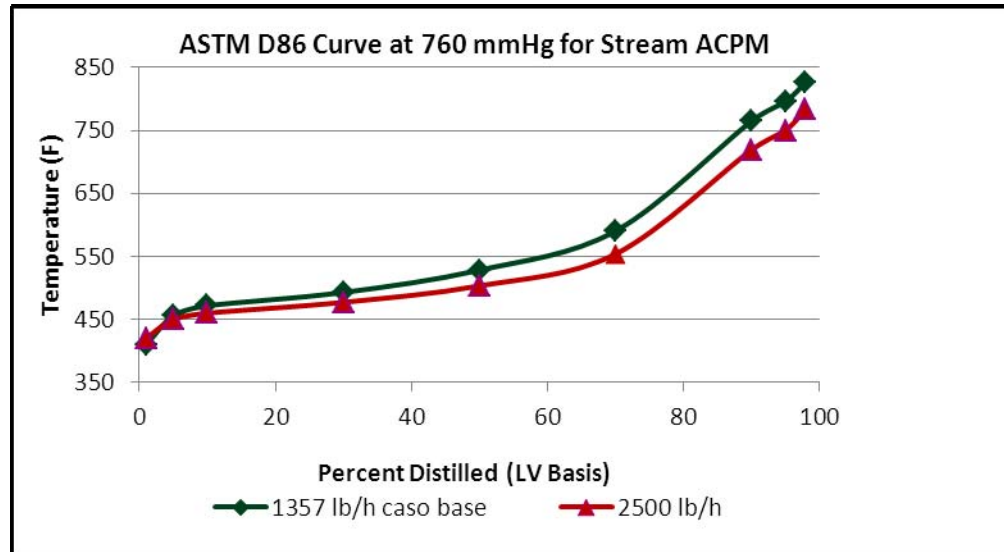
Tabla 9. Resultado de Sensibilidad para flujo de vapor con recirculación del 60% del ACPM de la T-2653 hacia la T-2652.

FLUJO DE VAPOR 50# (lb/hr)	DMOH				ACPM				NAFTA			
	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT (°F)	FLUJO EN (BPD)	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT	FLUJO EN (BPD)	T95%. (°F)	H2S (PPM)	FLASH POINT (°F)	FLUJO EN (BPD)
1357.7	1305,65	0	273,3	18865,75	763,77	10,33	182,87	407,04	413,85	582,5	4,68	98,59
1757.7	1305,69	0	282,05	18817,88	758,21	8,49	183,77	454,25	412,16	581,33	4,65	98,39
2357.7	1305,75	0	294,37	18752,55	751,30	6,81	184,74	519,86	410,90	580,94	4,62	98,25
2500	1305,76	0	297,34	18738,11	749,98	6,53	184,99	534,21	410,72	580,93	4,61	98,22

Fuente: El autor

Aunque la curva de destilación del ACPM mejora tal y como se observa en la Figura 9, también se afecta el rendimiento por una disminución del flujo de ACPM en un 30.5%, dejándose de obtener más de 235.29 BPD ACPM. Sin embargo si tenemos en cuenta que en los inicios de corrida este ACPM, es enviado con el DMOH producto, con esta alternativa estaríamos recuperando un producto con alta calidad que probablemente puede ser vendido como ACPM.

Figura 9. Curva de destilacion ACPM, con recirculacion de 60% y vapor de 2500lb/hr



Fuente: El autor

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ALTERNATIVA

El Reciclo del 30% e incremento de flujo de vapor a 2500lb/hr supera a la alternativa de reciclo de 60% por afectar en menor medida el rendimiento en la producción de ACPM, presentando también las siguientes ventajas.

VENTAJAS

- ❖ Mejoramiento de la curva de destilación recuperándose un ACPM más liviano dependiendo el flujo de vapor de despojo.
- ❖ Disminución de problema de corrosión por alta concentración de H₂S en ACPM hasta en un 38%.
- ❖ Posible Recuperación del 96.7% del ACPM que se envía con el DMOH por baja calidad en corrosión o punto final.
- ❖ Fácil implementación.
- ❖ Se verifico en campo y se cuentan con las facilidades para la aplicación de

esta alternativa.

DESVENTAJAS

- ❖ Desconocidas

6.2 ALTERNATIVA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE DISEÑO

6.2.1 Alternativa 4

- ❖ **SENSIBILIDAD EN NÚMERO DE PLATOS EN LA TORRE T-2652**

Incremento en número de platos en torre T-2652.

Tabla 10. Resultado de sensibilidad en número de platos

# DE PLATOS	ACPM			NAFTA			DMOH		
	T95%. (°F)	H2S (PPM)	EN (BPD)	T95%. (°F)	H2S (PPM)	EN (BPD)	T95%. (°F)	H2S (PPM)	EN (BPD)
5	795,60	11,62	769,29	422,29	578,06	99,51	1305,96	0	18503,9
6	795,30	11,61	770,38	421,89	575,79	99,48	1305,96	0	18502,8
7	795,19	11,63	770,76	421,64	574,74	99,46	1305,96	0	18502,6
8	795,13	11,65	770,54	421,51	574,21	99,44	1305,96	0	18503,1

Fuente: El autor

Variar el número de platos en la torre T-2652 no se presenta como una buena alternativa para mejorar la recuperación de un ACPM más liviano, los resultados de la sensibilidad (tabla 10) muestran que la T95% en el ACPM y NAFTA permanecen prácticamente constantes, de igual manera los flujos de ACPM y NAFTA no se ven afectados significativamente.

La concentración de H₂S no presenta cambios significativos por lo que de manera indirecta podemos deducir que la corrosión en el ACPM será prácticamente la misma, independientemente de que la torre tenga más o menos platos. Se debe resaltar un aspecto muy importante en el diseño, tenido en cuenta al momento de realizar la sensibilidad, cuando se aumenta el número de platos la eficiencia de la torre tiende a aumentar, sin embargo, lo que se espera es evaluar la oportunidad de mejorar la eficiencia colocando más platos sin aumentar la altura de la torre, los platos deben conservar un espaciado mínimo que está limitado por el diámetro de la columna y las condiciones operacionales, además el espaciado entre platos en columnas grandes, es usualmente determinado por la necesidad de un fácil acceso para mantenimiento e inspección, por estas razón la sensibilidad se hizo para un máximo de 8 platos. En el anexo 7 se presentan las condiciones actuales de diseño de la torre T-2652. (Número de platos, espaciamiento entre platos, altura, etc.)

Alternativamente también se realizó una sensibilidad teniendo en cuenta la hidráulica de platos, esta se llevó a cabo cambiando los platos de válvula por platos perforados, demostrándose la misma eficiencia que con platos de válvula, los resultados fueron exactamente iguales, por esta razón cambiar el tipo de platos tampoco se contempla como buena alternativa.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ALTERNATIVA.

VENTAJAS

- ❖ Desconocidas

DESVENTAJAS

- ❖ Los cambios en la T_{95%} son muy leves, de menos de 1°F y no se logra mejorar los niveles de H₂S en el ACPM.

7. ALTERNATIVA SELECCIONADA

Se selecciona la alternativa numero 3 (reciclo de 30%), la cual mediante simulación en PRO II, mostró los mejores resultados, además se cuenta con las facilidades, lo que no implica costos extras para el departamento en cuanto a instalación de nuevas líneas, ésta alternativa podría fácilmente ejecutarse desde inicio de corrida de la unidad programada para febrero de 2012 o en cualquier momento.

Como se mencionó anteriormente esta alternativa requiere del incremento en el flujo de vapor en la torre despojadora,

Al aumentar el flujo de vapor se obtiene mejores rendimientos y se disminuyen los niveles de H₂S, en el ACPM. Para probar esta afirmación se midió el flujo de H₂S en la corriente de gases del separador D-2657(cima de T2653), observándose una mayor remoción al aplicar la recirculación y aumentar el flujo de vapor como se observa en la tabla 11.

Tabla 11. Remoción de H₂S con recirculación e incremento en flujo de vapor de despojo.

	Flujo de vapor 50# (lb/hr)	Flujo de H ₂ S en gases de D-2657 (ft ³ /día)
Caso base.	1357	10723
Recirculación 30%	1357	10731
	2357	10737
	2500	10737
Recirculación 60%	1357	10740
	2357	10744
	2500	10744

Fuente: El autor

7.1 COMO EJECUTAR LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.

Para llevar a cabo la recirculación del ACPM hacia la torre T2652, se debe restringir el flujo de ACPM hacia *Blending* cerrando parcialmente la válvula ubicada después del E-2657 y al mismo tiempo se deben abrir las dos la válvulas ubicadas después del FI-26549 las cuales permiten que una fracción ACPM sea desviado y se mezclen con el DMOH que sale de los E-2654 para dirigirse hacia la T-2652 (ver diagrama de flujo del proceso en anexo 4), estas válvulas son manuales y la fracción del flujo recirculado se puede medir por la diferencia entre el flujo medido a la salida de la torre T-2653 por el FI-26535 y el flujo medido en la línea de recirculación por el FI-26549.

El ajuste del flujo de vapor se puede hacer directamente desde el DCS (Tablero 2) del cuarto de control de refinación de fondo a través del FIC-26515.

7.2 BENEFICIOS ESPERADOS

Se estima el beneficio económico de la alternativa seleccionada para una recirculación de ACPM del 30% y un incremento simultaneo en el flujo de vapor de despojo de 1357lb/hr (valor promedio) hasta 2357 lb/hr de vapor.

El costo de 10000lb de vapor de despojo de 50# está del orden de 34US\$, según “*variables energéticas de impacto*” para la refinería.

Costo del vapor despojo consumido actualmente en la T-2652

$$=1.3557\text{Klb/hr} \cdot 34\text{US\$}/10\text{Klb} \cdot 24 \cdot 30$$

$$=3323\text{US\$/mes.}$$

Al aumenta el flujo de vapor a 2357lb/hr, el costos de este vapor es de:

$$=5769.93\text{US\$/mes}$$

Tabla 12. Beneficio Económico

	ACPM como diluyente - ALC (caso base)	ACPM Recuperado con recirculación de 30%. y 2357lb/hr de vapor de 50#.	ACPM hacia DMOH
Flujo (BPD)	769	728	41
Precio por Barril (US\$)	114.6	122.5	98.3
Valor(US\$/día)	88127	89180	4030
Beneficio Económico	5083 US\$/día ó 152490 US\$/Mes		

Fuente: El autor

El costo del vapor es insignificante al compararlo con el dinero recuperado al mejorar la calidad del ACPM.

Como se mencionó anteriormente la planta produce entre 700 y 1500 BPD de ACPM, para estimar una recuperación mínima se escoge el caso base de la simulación donde para una carga de 19000 BPD se producen 769 BPD por fuera de especificaciones que se venderían como diluyente. Al aplicar una recirculación de 30% e incrementar el vapor hasta 2357 lb/hr se estarían recuperando 728 BPD de un ACPM con buena calidad y 41 barriles se están yendo con el DMOH. El resultado es una recuperación mínima de 152490US\$ por día como lo muestra la tabla anterior.

CONCLUSIONES

La validación del modelo realizado en PRO II, mostró resultados aceptables para estudios preliminares, por lo que comprende un buen punto de partida para la implementación de rutinas de optimización.

Se evaluaron cuatro alternativas de mejora de la calidad del ACPM de UNIBON de las cuales se seleccionó la alternativa N° 3: *Reciclo del 30% de la corriente de ACPM producto, hacia la T-2652 e incremento del flujo de vapor en la torre despojadora de 1357 hasta 2500lb/hr.* Se selecciona esta alternativa ya que presenta los mejores beneficios, lográndose una reducción de 38% en la concentración de H₂S y 15°F en la T95% sin afectar considerablemente la producción del ACPM.

El solo incremento del flujo de vapor de despojo en la T-2652, permite mejorar los niveles de H₂S en el ACPM, sin embargo hay que tener cuidado, ya que el aumento del flujo de vapor disminuye la presión parcial de fracciones pesadas del DMOH que se despojaran aumentando el punto final y la T95% del mismo.

En la planta UNIBON del departamento de refinación de fondos se obtiene un ACPM que generalmente posee características fisicoquímicas por fuera de especificaciones, el cual mediante la aplicación de la alternativa N°3 (Reciclo de 30%) podría recuperarse como un producto de buena calidad desde inicios de corrida, representando un beneficio económico mínimo estimado en US\$152490 por mes.

BIBLIOGRAFÍA

Aspen Physical Property System: Physical Property Models. *Aspentech*. Burlington, USA.2010. P. 64.

BEGAJETWICZ, M.,&JI, S. 2001. Rigorous Procedure for the Design of Conventional Atmospheric Crude Fractionation Units. Part I: Targeting. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol. 40 (2), P. 617-626.

CARLSON, E. C. 1996. Don't Gamble With Physical Properties For Simulations. *Chemical Engineering Progress*. Vol. 92 (10), P. 35-46.

CHAU-CHYUN,C., & MATHIAS, P.M. 2002. Applied Thermodynamics for Process Modeling. *AIChE Journal*. Vol. 48(2). P.194-200.

GUERRA, Omar. J., & LE ROUX, Galo A.2011.Improvements in Petroleum Refinery Planning: 1. Formulation of Process Models. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol. 50 (23), P. 13403–13418.

GUERRA, Omar .J., & LE ROUX, Galo A.2011.Improvements in Petroleum Refinery Planning: 2. Case Studies. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol. 50 (23), P. 13419–13426.

KUMAR, M. R., KUMAR, V. B., UPPALURI, R., & BANJARA, V.R. 2009. Optimization of Crude Distillation System Using Aspen Plus: Effect of Binary Feed Selection on Grass-root Design. *Chemical Engineering Research and Design*. Vol 88 (2), P. 121–134.

MANUAL DE DESCRIPCIÓN DE PROCESOS DE LA UNIDAD UNIBON, vicepresidencia de Refinación y Petroquímica, Gerencia Complejo Barrancabermeja.2011. P. 31-33.

PINTO, J.M., JOLY, M., & MORO, L.F.L. 2000.Planning and Scheduling Models for Refinery Operations. *Computers and Chemical Engineering*. Vol.24, P. 2259–2276.

TARIFA, E.E., &FRANCO, S. 2008. Determinación de la Curva de Destilación Flash para Cortes de Petróleo Utilizando Simuladores Comerciales. *Ingeniería e Investigación (Colombia)*. Vol. 28(01), P.50-56.

ANEXOS

ANEXO A. Caracterización ACPM, NAFTA, DMOH y GASES

Tabla 13. Assay de DMOH, DMO Y NAFTA

DESTILACION SIMULADA ASTM	D7169	D7169	D3710
Tabla Puntos Ebullicion %Off GR C	DMO	DMOH	NAFTA
IBP	247,8	224,3	-1,1
1 %	287,8	246,6	2,2
2 %	346,3	288,3	37,3
3 %	387,1	325,2	60,5
4 %	412,1	358,7	68,1
5 %	428	384,2	71,2
6 %	440,3	403,2	84,6
7 %	451	417,4	87,9
8 %	460,6	428,5	89,3
9 %	468,9	438	91,1
10 %	475,9	446,6	93,1
11 %	482,2	454,6	96
12 %	488,2	462,1	98
13 %	493,6	468,8	99,1
14 %	498,3	474,6	102,4
15 %	502,5	480	102,8
16 %	506,5	485,3	103,2
17 %	510,4	490,1	103,8
18 %	514,4	494,7	107,1
19 %	518,2	498,7	110,3
20 %	521,8	502,5	113,2

21 %	525,2	506	114,9
22 %	528,5	509,5	117,1
23 %	531,7	513,2	118,9
24 %	534,8	516,7	122,3
25 %	537,8	520,2	124,8
26 %	540,7	523,5	125,7
27 %	543,6	526,7	126,3
28 %	546,5	529,7	127,2
29 %	549,4	532,8	130,7
30 %	552,3	535,7	131,8
31 %	555,2	538,6	132,4
32 %	557,8	541,4	133,1
33 %	560,4	544,2	133,9
34 %	563	547	135,6
35 %	565,6	549,9	136,8
36 %	568	552,7	137,3
37 %	570,3	555,5	137,7
38 %	572,7	558,2	138,1
39 %	575	560,8	139,3
40 %	577,4	563,3	140,9
41 %	579,8	565,9	142,7
42 %	582,2	568,3	144
43 %	584,6	570,6	145,6
44 %	586,9	573	147,5
45 %	589,3	575,4	148,4
46 %	591,6	577,8	150,6
47 %	593,9	580,2	152,9
48 %	596,2	582,7	155,3
49 %	598,5	585,1	156,6

50 %	600,9	587,5	158,2
51 %	603,3	589,9	159,6
52 %	605,7	592,3	160,8
53 %	608,2	594,7	161,5
54 %	610,6	597,1	162,3
55 %	613	599,5	163,5
56 %	615,5	602	164,5
57 %	618,1	604,5	165,9
58 %	620,8	607,1	167,2
59 %	623,4	609,6	169
60 %	626	612,2	169,8
61 %	628,7	614,7	170,3
62 %	631,2	617,5	170,7
63 %	633,7	620,3	171,3
64 %	636,3	623,1	173
65 %	639,1	625,8	174
66 %	642	628,6	174,5
67 %	644,9	631,3	175,2
68 %	647,9	634	176,3
69 %	650,9	636,9	176,8
70 %	653,7	639,9	177,4
71 %	656,4	643	178,4
72 %	659,6	646,2	179,2
73 %	663,4	649,4	180,5
74 %	667,2	652,6	181,7
75 %	670,9	655,5	182,4
76 %	674,3	658,7	183
77 %	678,4	662,9	183,8
78 %	682,6	667,1	185

79 %	686,4	671,2	186,3
80 %	690,5	674,9	187,7
81 %	693,8	679,9	188,6
82 %	697,6	684,4	189,5
83 %	701,5	688,9	190,5
84 %	705,1	693,1	193
85 %	709	697,4	194,3
86 %	713,1	702	195,1
87 %	717	706,3	196,5
88 %		711,3	198
89 %		716	200,5
% RECUPERADO(Off)	87,7	89,8	-1,1

Fuente: Laboratorio ICP

Tabla 14. Assay de ACPM

DESTILACION SIMULADA ASTM		D86
Tabla Puntos		T(°C)
Ebullicion		
%Vol.Recobrado		
.GR C		
1%		204.4
5%		219.5
10%		228.8
50%		277.1
90%		387.4
95%		401.5
100%		403.4

Fuente: laboratorio de refinería (CDLAB)

Tabla 15.Composición gases D-2657

ANALISIS	VALOR	%	ID DE
		mol	MUESTRA
1-BUTENO	0,07	%mol	GASES D2657
C5 Y MAS PESADOS	4,12	%mol	GASES D2657
DIOXIDO DE CARBONO	6,15	%mol	GASES D2657
ETANO	2,68	%mol	GASES D2657
ETILENO	3,51	%mol	GASES D2657
H2S		%mol	GASES D2657
HIDROGENO	65,88	%mol	GASES D2657
ISO-BUTANO	4,65	%mol	GASES D2657
METANO	15,48	%mol	GASES D2657
MONOXIDO DE CARBONO	5,42	%mol	GASES D2657
N-BUTANO	1,39	%mol	GASES D2657

NITROGENO	3,55	% mol	GASES D2657
OXIGENO	0	% mol	GASES D2657
PROPANO	2,27	% mol	GASES D2657
PROPILENO	4,97	% mol	SAE 431 GASES D2657 10-AGOSTO-10

Fuente: laboratorio de refinera (CDLAB)

Tabla 16. Composición gases D-2655

ANALISIS	VALOR	% mol	ID DE MUESTRA
DIOXIDO DE CARBONO	0	% mol	D-2655
ETANO	1,32	% mol	D-2655
ETILENO	0	% mol	D-2655
HIDROGENO	60,51	% mol	D-2655
ISO-BUTANO	0,34	% mol	D-2655
ISO-PENTANO	0,18	% mol	D-2655
METANO	27,42	% mol	D-2655
MONOXIDO	0	%	D-2655

DE CARBONO		mol	
N-BUTANO	0,87	% mol	D-2655
NITROGENO	0,33	% mol	D-2655
OXIGENO	0	% mol	D-2655
PROPANO	1,09	% mol	D-2655
PROPILENO	0	% mol	D-2655
SULFURO DE HIDROGENO	7,6	% mol	D-2655

Fuente: Laboratorio de refinería (CDLAB)

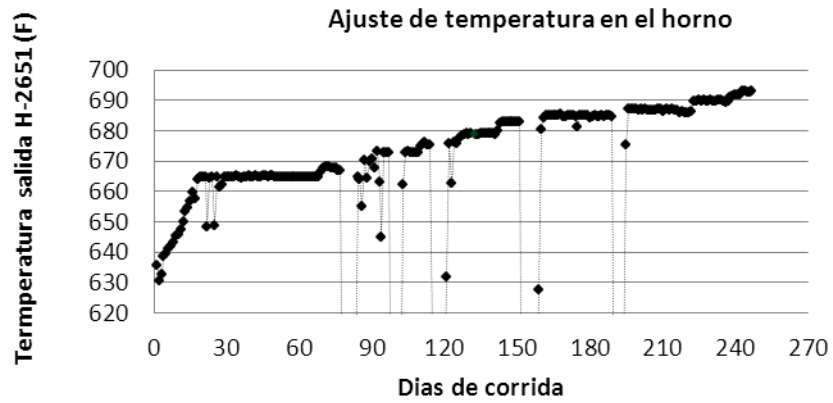
ANEXO B. Desvío de ACPM hacia DMOH por baja calidad 02/06/2011

Turno	Fecha inicio	Fecha Final	Comentario
	06/06/2011 06:00:00 a.m.	06/06/2011 02:00:00 p.m.	** DMO DE TK2653 ** DMOH A K-2702. ** NAFTA DEL D-2657 HACIA VBK. ** ACPM ALINEADO HACIA DMOH ** CO2 HACIA MULTISERVICIOS.
	05/06/2011 06:00:00 a.m.	05/06/2011 02:00:00 p.m.	** DMO DE TK2653 ** DMOH A K-2702. ** NAFTA DEL D-2657 HACIA VBK. ** ACPM ALINEADO HACIA DMOH ** CO2 HACIA MULTISERVICIOS.
	04/06/2011 06:00:00 a.m.	04/06/2011 02:00:00 p.m.	** DMO DE TK2653 ** DMOH A K-2702. ** NAFTA DEL D-2657 HACIA VBK. ** ACPM ALINEADO HACIA DMOH ** CO2 HACIA MULTISERVICIOS.
	03/06/2011 06:00:00 a.m.	03/06/2011 02:00:00 p.m.	** DMO DE TK2653 ** DMOH A K-2702. ** NAFTA DEL D-2657 HACIA VBK. ** ACPM ALINEADO HACIA DMOH ** CO2 HACIA MULTISERVICIOS.
	02/06/2011 06:00:00 a.m.	02/06/2011 02:00:00 p.m.	*** DMO DE TK2653 ** DMOH A K-2702. ** NAFTA DEL D-2657 HACIA VBK. ** ACPM ALINEADO HACIA DMOH ** CO2 HACIA ATMOSFERA
A	01/06/2011 06:00:00 a.m.	01/06/2011 02:00:00 p.m.	** DMO DE TK2653 ** DMOH A K-2702. ** NAFTA DEL D-2657 HACIA VBK. ** ACPM ALINEADO HACIA DMOH ** CO2 HACIA MULTISERVICIOS
	31/05/2011 06:00:00 a.m.	31/05/2011 02:00:00 p.m.	** DMO DE TK2653 ** DMOH A K-2702. ** NAFTA DEL D-2657 HACIA VBK. ** ACPM ALINEADO HACIA DMOH ** CO2 HACIA MULTISERVICIOS
	30/05/2011 06:00:00 a.m.	30/05/2011 02:00:00 p.m.	** DMO DE TK2653 ** DMOH A K-2702. ** NAFTA DEL D-2657 HACIA VBK. ** ACPM ALINEADO HACIA DMOH ** CO2 HACIA MULTISERVICIOS
	29/05/2011 06:00:00 a.m.	29/05/2011 02:00:00 p.m.	** H2 DE RECICLO HACIA HDT: 3.129,912 PCED ** SE RECIBE DMO DEL K-2653 CON LA NP-2663 LA CUAL NO TIENE AUXILIAR DISPONIBLE. ** SE MANDA DMOH AL K-2702. ** NAFTA DEL D-2657 HACIA VBK. ** ACPM ALINEADO HACIA DMOH. ** CO2 SUSPENDIDO POR ALTO INVENTARIO..
	28/05/2011 06:00:00 a.m.	28/05/2011 02:00:00 p.m.	** DMO DE TK2653 ** DMOH A K-2702. ** NAFTA DEL D-2657 HACIA VBK. ** ACPM ALINEADO HACIA DMOH ** CO2 HACIA MULTISERVICIOS.

Fuente: La refinería

ANEXO C. Tendencia de la temperatura de reacción proporcionada por ajustes de la temperatura en horno H-2651

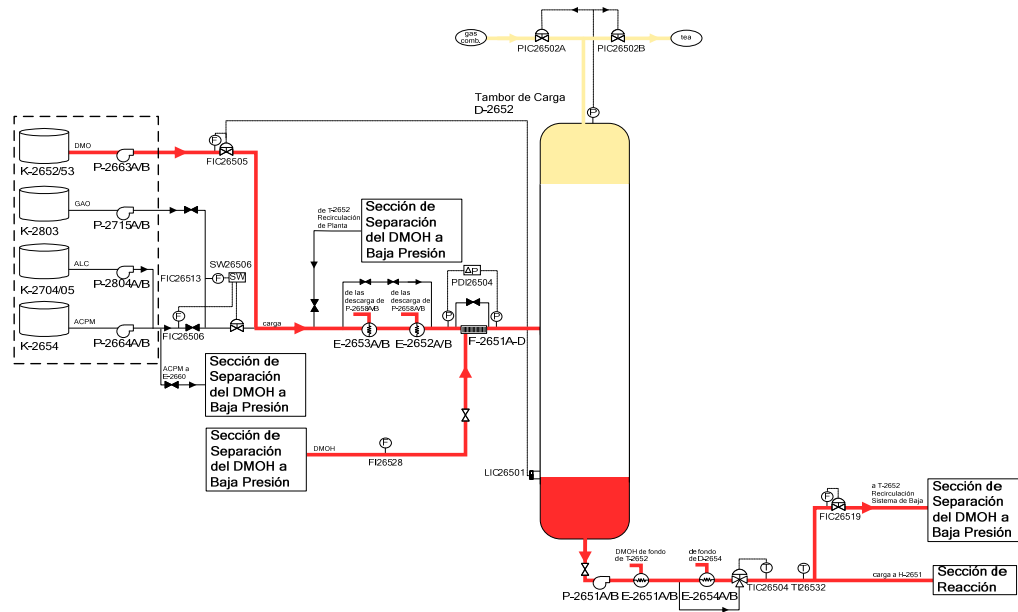
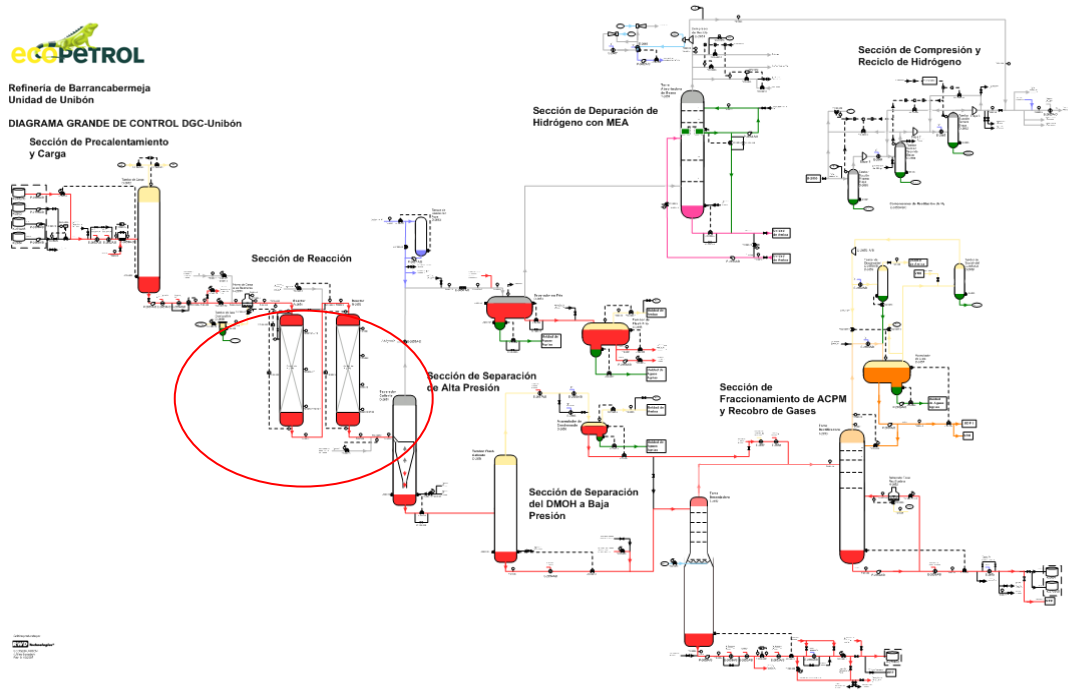
Figura 10. Tendencia de la temperatura de reacción.



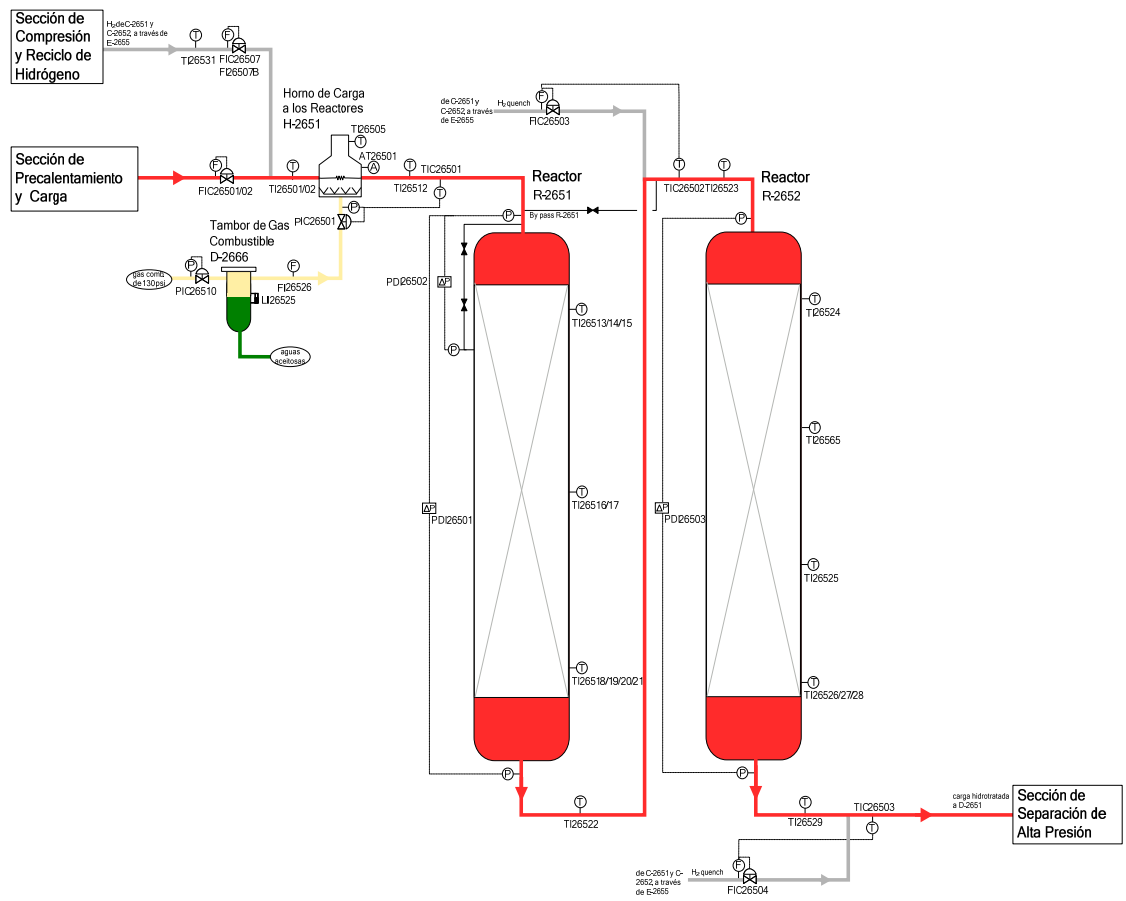
Fuente: El autor

ANEXO D. Diagrama de flujo de proceso.

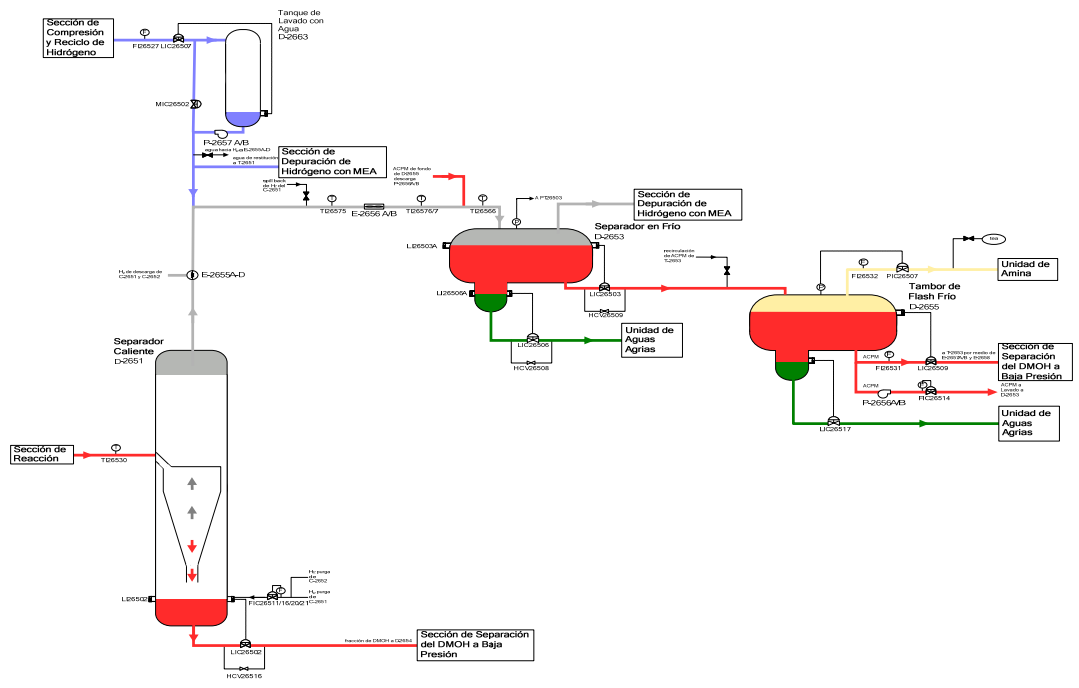
Diagrama general y por secciones



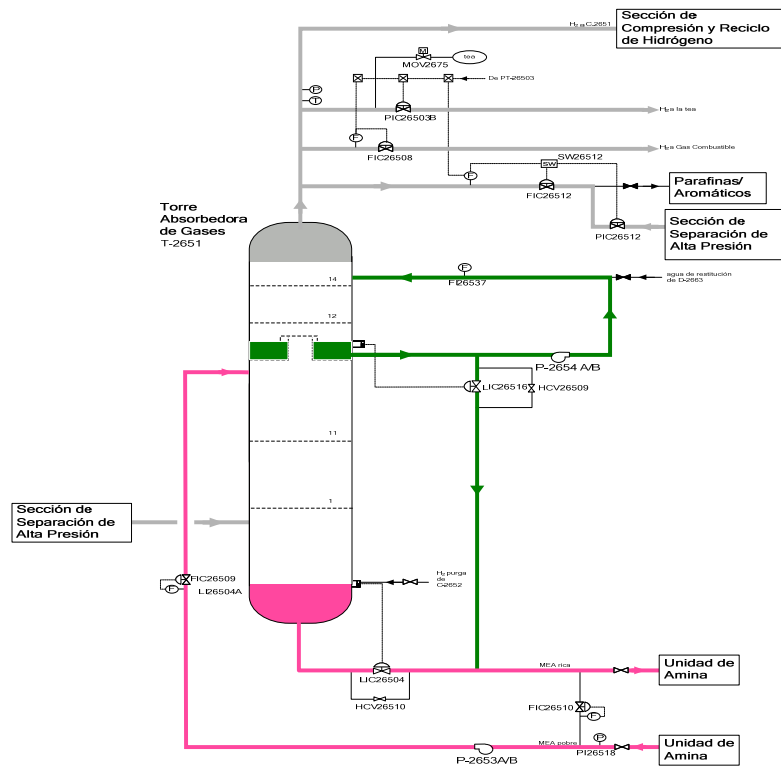
Sección de Precalentamiento y Carga



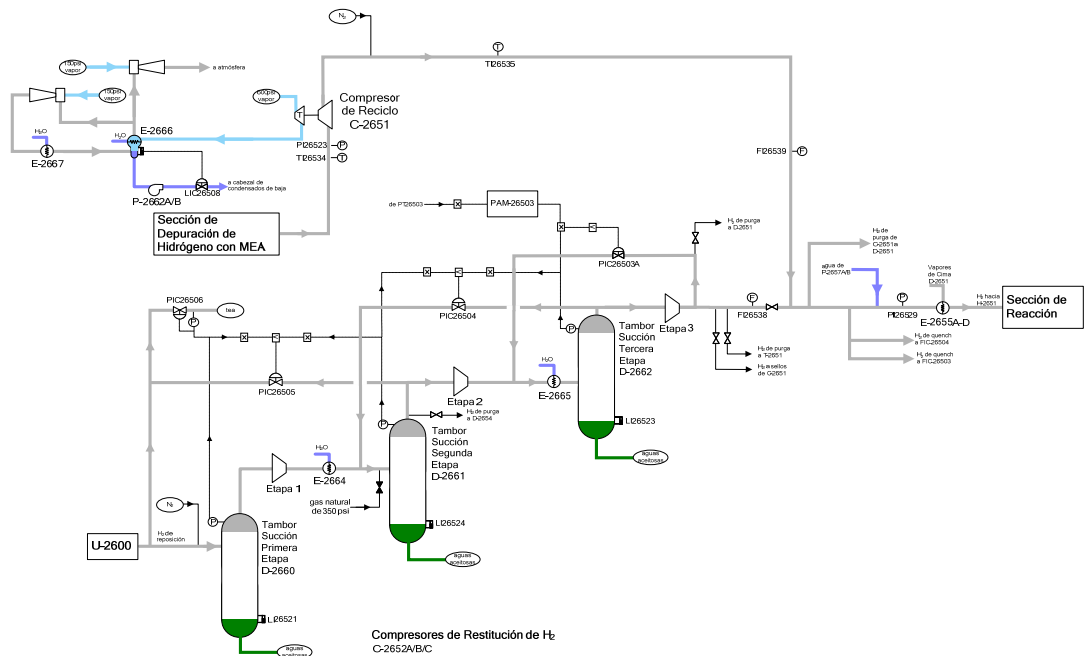
Sección de Reacción



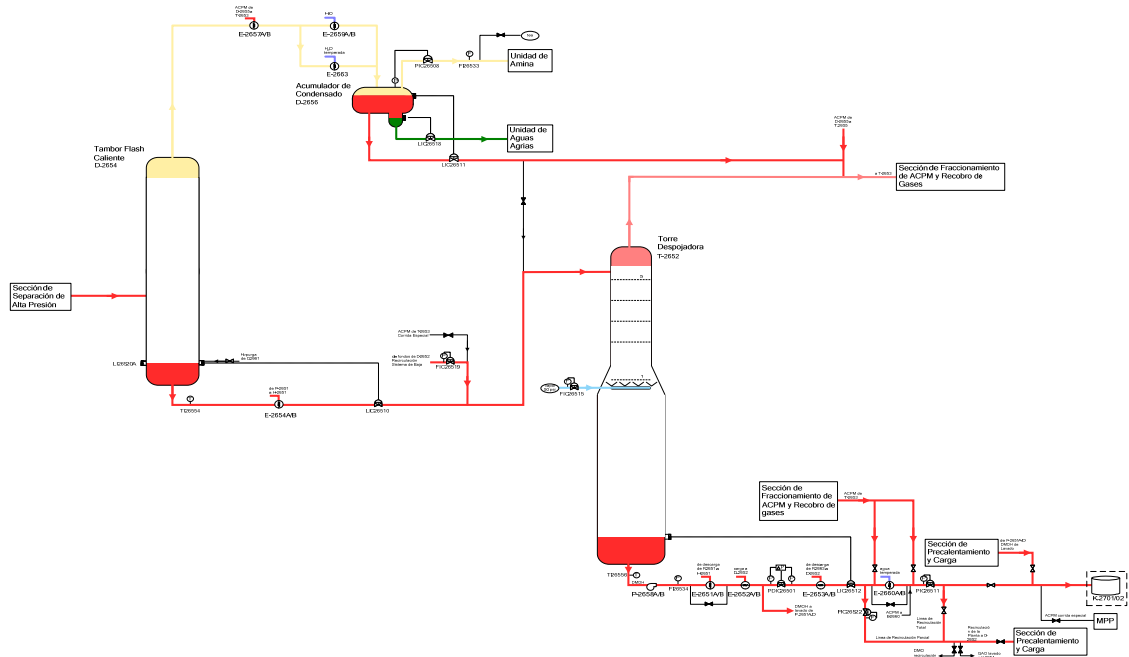
Sección de Separación de Alta Presión



Sección de Depuración de Hidrógeno con MEA



Sección de Compresión y Reciclo de Hidrógeno



Sección de Separación del DMOH a Baja Presión

ANEXO E. Tabla 17 Propiedades físicas estimadas por el modelo (caso base)



Stream Name Stream Description		ACPM	ACPMPRODUCTO	DMOH	DMOH-PRODT	NAFTA	NAFTAPROD
Phase		Liquid	Liquid	Liquid	Liquid	Vapor	Liquid
Total Stream							
Rate	LB-MOL/HR	35,159	40,928	453,950	439,174	8,536	8,500
	LB/HR	8189,412	9539,277	263219,594	258470,375	1050,049	1144,955
Std. Liq. Rate	FT3/HR	154,197	179,968	4419,599	4328,808	21,413	23,280
Temperature	F	697,920	405,651	697,920	241,178	697,920	84,999
Pressure	PSIG	1650,000	18,977	1650,000	65,000	1650,000	9,000
Molecular Weight		232,927	233,072	579,843	588,537	123,008	134,701
Enthalpy	MM BTU/HR	3,176	1,807	94,406	22,543	0,421	0,028
	BTU/LB	387,846	189,455	358,658	87,215	401,032	24,186
Mole Fraction Liquid		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000
Reduced Temperature		0,8679	0,8512	0,6651	0,4002	1,0620	0,4888
Reduced Pressure		6,2869	0,1212	12,0505	0,4519	4,0270	0,0621
Acentric Factor		0,6096	0,6110	1,2681	1,2865	0,2446	0,3804
UOP K factor		11,847	11,874	12,037	12,037	Property Table	11,743
Std. Liquid Density	LB/FT3	53,110	53,005	59,557	59,709	49,039	49,182
Sp. Gravity		0,8516	0,8499	0,9550	0,9574	0,7863	0,7886
API Gravity		34,661	34,990	16,674	16,297	48,466	47,932
Vapor							
Rate	LB-MOL/HR	n/a	n/a	n/a	n/a	8,536	n/a
	LB/HR	n/a	n/a	n/a	n/a	1050,049	n/a
	FT3/HR	n/a	n/a	n/a	n/a	40,280	n/a
Vapor Std Vol Flow	FT3/HR	n/a	n/a	n/a	n/a	3239,433	n/a
Molecular Weight		n/a	n/a	n/a	n/a	123,008	n/a
Z (from K)		n/a	n/a	n/a	n/a	0,62350	n/a
Enthalpy	BTU/LB	n/a	n/a	n/a	n/a	401,032	n/a
CP	BTU/LB-F	n/a	n/a	n/a	n/a	0,761	n/a
Density	LB/FT3	n/a	n/a	n/a	n/a	26,068	n/a
Th. Conductivity	BTU/HR-FT-F	n/a	n/a	n/a	n/a	0,04362	n/a
Viscosity	CP	n/a	n/a	n/a	n/a	0,05171	n/a
Liquid							
Rate	LB-MOL/HR	35,159	40,928	453,950	439,174	n/a	8,500
	LB/HR	8189,412	9539,277	263219,594	262121,438	n/a	1146,555
Liquid Std Vol Flow	FT3/HR	154,197	179,968	4419,598	4390,038	n/a	23,292
Molecular Weight		232,927	233,072	579,843	596,850	n/a	134,771
Z (from K)		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	n/a	0,00000
Enthalpy	BTU/LB	387,846	189,455	358,658	86,000	n/a	24,174
CP	BTU/LB-F	0,736	0,608	0,729	0,510	n/a	0,458
Density	LB/FT3	41,005	45,128	50,546	56,417	n/a	48,563
Surface Tension	DYNE/CM	4,8854	16,0041	14,6055	30,0579	n/a	25,1670
Th. Conductivity	BTU/HR-FT-F	0,02443	0,03971	0,04065	0,04971	n/a	0,05790
Viscosity	CP	0,12267	0,40384	1,42125	276,53662	n/a	0,74992

Fuente: El autor

ANEXO F. Condiciones de diseño de la T-2652

CONDICIONES DE DISEÑO- T2653	
Presión máxima de operación	50 psig
Temperatura máxima	700F
Capacidad	22.6m3
Peso total vacía	12650 kg
Altura	7.315 m
Diámetro (PARTE SUPERIOR)	1.524m
Diámetro2 (PARTE INFERIOR)	2.286m
Numero de platos	5
Espaciamiento entre platos	0.610m