

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DE LA UNIDAD DE
HIDROTRATAMIENTO DE GASOLINA U-4750 EN LA REFINERÍA DE
BARRANCABERMEJA - ECOPETROL S.A.**

**JOHANNA MARÍA AGUIRRE MEDINA
EDWARD AMAGUAÑA VEGA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2015**

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DE LA UNIDAD DE
HIDROTRATAMIENTO DE GASOLINA U-4750 EN LA REFINERÍA DE
BARRANCABERMEJA – ECOPETROL S.A.**

**JOHANNA MARÍA AGUIRRE MEDINA
EDWARD AMAGUAÑA VEGA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniero Químico**

Director

**MARÍA PAOLA MARADEI GARCÍA
Ingeniera Química Ph.D.**

Co-director

**HUMBERTO ESCALANTE HERNÁNDEZ
Ingeniero Químico Ph.D.**

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

2015

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. METODOLOGÍA	19
1.1 APROPIACIÓN TEÓRICO-PRÁCTICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE HIDROTRATAMIENTO DE GASOLINA U-4750.	19
1.2 RECOPIACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES DE LA U-4750 EN UN PERÍODO DE TIEMPO DE DOS AÑOS DE OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN CONTINÚA.	20
1.3 ESTRUCTURACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA UNIDAD DE HIDROTRATAMIENTO DE GASOLINA U-4750 USANDO LA HERRAMIENTA ASPEN HYSYS V8.6.	21
1.3.1 Lista de componentes	21
1.3.2 Paquete de fluidos	21
1.3.3 Oil Manager	22
1.3.3.1 Sección de carga y fraccionamiento	24
1.3.3.2 Sección de reacción.....	24
1.3.3.3 Sección de estabilización.....	25
1.3.3.4 Sección de depuración hidrógeno y reciclo.....	26
1.4 VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN.....	26
2. RESULTADOS.....	27
2.1 DIAGRAMAS DE CADA SECCIÓN Y EXPLICACIÓN DE CADA SECCIÓN...27	
2.1.1 Sección de carga y fraccionamiento	27
2.1.2 Sección de reacción.....	28
2.1.3 Sección de estabilización.....	30

2.1.4 Sección de depuración de hidrógeno y reciclo.....	31
2.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DATOS	32
2.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN.....	33
2.3.1 Lista de componentes.....	34
2.3.2 Paquete de fluidos	35
2.3.3 Características de equipos.....	36
2.4 VALIDACIÓN DE LA SIMULACIÓN.....	44
3. CONCLUSIONES	48
4. RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de bloques del proceso Prime G+ [2].	16
Figura 2. Esquema por secciones de la unidad de hidrotratamiento de gasolinas de la GBR.	17
Figura 3. Diagrama de la sección de reacción de la Unidad U-4750.	17
Figura 4. Metodología usada para el desarrollo de una herramienta de simulación de la U-4750.	19
Figura 5. Diagrama de sección de carga y fraccionamiento con identificación de corrientes, medidores y flujos volumétricos entregados y recibidos.	28
Figura 6. Diagrama de sección de reacción con identificación de corrientes, medidores y flujos volumétricos entregados y recibidos.	29
Figura 7. Diagrama de caja del flujo de carga a la T-4751 (Valor dado en bbl/día).	32
Figura 8. Esquema de simulación con eliminación de unidades de intercambio. ...	38

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Curva de destilación ASTM D86 de la carga a la T-4751 [3].	20
Tabla 2. Intervalo de confianza medidor de flujo FI47501 (Valor dado en bbl/día).	33
Tabla 3. Composición caracterizada de corriente 3 a partir de la ASTM D86.	34
Tabla 4. Comparativos entre los valores reales medidos en planta y los datos simulados usando los paquetes termodinámicos de Lee Kesler Plocker, Soave Redlich Kwong y Peng Robinson.	35
Tabla 5. Información suministrada y simulada del intercambiador de calor E-4757 A/B/C/D.	37
Tabla 6. Información suministrada y simulada del horno H-4751.	39
Tabla 7. Información suministrada y simulada de la torre separadora T-4751.	40
Tabla 8. Información suministrada y simulada de la torre absorbadora de aminas T-4752.	41
Tabla 9. Información suministrada y simulada de la torre estabilizadora T-4753.	41
Tabla 10. Información suministrada y simulada en el reactor de diolefinas R-4751.	42
Tabla 11. Información suministrada y simulada en el reactor de hidrosulfuración R-4752.	43
Tabla 12. Validación de la sección de carga y fraccionamiento.	44
Tabla 13. Validación de la sección de reacción.	44
Tabla 14. Validación de la sección de depuración de hidrógeno y reciclo.	46
Tabla 15. Validación de la sección de estabilización.	46
Tabla 16. Composiciones simulada y real de la gasolina hidrotratada.	47

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Diagramas por secciones con la ubicación de los medidores seleccionados e identificación de corrientes.....	54
Anexo B. Identificación de equipos con código, nombre y sección.....	59
Anexo C. Datos suministrados por Ecopetrol S.A.....	62
Anexo D. Medidores seleccionados de flujo volumétrico (bbl/día), presión (psig) y temperatura (°F).....	64
Anexo E. Procedimiento para calcular los datos atípicos y extremadamente atípicos.	65
Anexo F. Análisis de datos de la sección de carga y fraccionamiento.....	66
Anexo G. Análisis de datos sección de reacción.	70
Anexo H. Análisis de datos sección de estabilización.....	74
Anexo I. Análisis de datos sección de depuración de hidrógeno y reciclo.	77
Anexo J. Procedimiento para la caracterización del crudo.	80
Anexo K. Cálculo de UA.	81
Anexo L. Tabla de composición del gas de proceso de salida de C-4751.....	82
Anexo M. Variables críticas usadas para la validación de la herramienta de simulación.....	83
Anexo N. Composición de la corriente 16 simulada por Aspen HYSYS V8.6.....	84
Anexo O. Información de la simulación de los intercambiadores de calor.	85
Anexo P. Información de la simulación de los <i>drums</i> , bombas y compresor.	89

GLOSARIO

API: *American Petroleum Institute* o medida de densidad que en comparación con el agua se define como pesado o liviano al petróleo.

ASTM D86: Método estándar para la destilación de productos del petróleo.

Bbl: Unidad de volumen (barril británico), equivale a 158.98 litros o 42 galones.

DEA: Amina llamada Dietanolamina.

EBP: *End Point Boiling* (punto final de ebullición).

GAS AGRIO: Gases que son ácidos ya sea solos o asociados con agua.

GBR: Gerencia refinería Barrancabermeja.

HDT: Hidrotratamiento.

HDS: Hidrodesulfurización.

HCN: Nafta pesada de cracking.

HTN: Nafta hidrotratada.

HR-806: Catalizador de hidrodesulfurización compuesto por óxidos metálicos de cobalto-molibdeno.

HR-845: Catalizador de hidrogenación de diolefinas

LCN: Nafta liviana de *cracking*.

MPCED: Miles de pies cúbicos diarios.

RVP: Presión de vapor verdadera en un líquido derivado del petróleo a una temperatura de 100 °C.

SCF: Es una unidad de medida anglosajona "*Standard cubic feet per minute*".

U-4750: Unidad de hidrotratamiento de gasolina.

TBP: *True Boiling Point* (temperatura de ebullición verdadera).

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DE LA UNIDAD DE HIDROTRATAMIENTO DE GASOLINA U-4750 EN LA REFINERÍA DE BARRANCABEREJA – ECOPETROL S.A.*

AUTORES: Johanna María Aguirre Medina;
Edward Amaguaña Vega**.

PALABRAS CLAVES: Unidad de Hidrotratamiento de Gasolina, tren de calentamiento, hidrodesulfuración, eficiencia térmica, Aspen HYSYS, Prime G+, Intercambiadores de calor.

DESCRIPCIÓN

En la actualidad debido a la normatividad ambiental vigente, las empresas están comprometidas en el desarrollo de procesos más limpios, óptimos y eficientes. Ecopetrol S.A. es la única empresa petrolera de Colombia, la cual viene reduciendo el contenido de azufre de sus combustibles mediante sus unidades de hidrotratamiento. Según la normatividad ambiental en Colombia estas plantas deben permitir la obtención de gasolinas y de diesel con un máximo de 300 ppm y 500 ppm, respectivamente.

Actualmente, la refinería busca mejorar la eficiencia térmica de la sección de reacción de la U-4750 debido a que el tren de calentamiento no está operando en las condiciones de diseño, en consecuencia sus equipos no están trabajando al máximo de su capacidad.

Este trabajo de grado tiene como finalidad desarrollar una herramienta de simulación en el programa Aspen HYSYS V8.6 para simular el proceso actual trabajando fuera de las condiciones de diseño. A partir de esto, se establecieron diferencias y recomendar soluciones para mejorar la eficiencia térmica del proceso.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: MARADEI María Paola Ing. Químico PhD. Co-Director: ESCALANTE HERNÁNDEZ Humberto Ing. Químico PhD.

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF A TOOL OF SIMULATION OF GAS HYDROTREATMENT U-4750 IN REFINERY UNIT BARRANCABEREJA – ECOPETROL S.A.*

AUTHORS: Johanna María Aguirre Medina; Edward Amaguaña Vega**.

KEYWORDS: Gasoline Hydrotreating Unit, train heating, hydrodesulfurization, thermal efficiency, Aspen HYSYS, Prime G+, heat exchanger.

DESCRIPTION

Nowaday due to environmental pollution, the companies are committed to develop of cleaner, optimal and efficient processes. Ecopetrol SA is the only oil company of Colombia, which going to reducing the sulfur content of fuels by hydrotreating units. According with environmental regulations in Colombia, this units must produce gasolines and diesel with a maximum of 300 ppm and 500 ppm, respectively.

Currently, the refinery aims to improve the thermal efficiency of reaction section of U-4750 due to the heat train is not operating under the desing conditions, therefore, their equipments are not operating at maximal capacity.

This ungraduate experimental work has a goal to develop a simulation tool in Aspen HYSYS V8.6 of process operating outside at design conditions. The differences and recommend solutions are proposed to improve the thermal efficiency of the process.

* Degree work

** Physicochemical Engineering Faculty. Chemical Engineering Department. Director: MARADEI María Paola Ing. Químico PhD. Co-Director: ESCALANTE HERNÁNDEZ Humberto Ing. Químico PhD.

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía más utilizadas en la actualidad son el carbón, el gas natural y el petróleo, de éste último se derivan muchos productos de todo tipo, entre ellos la gasolina, el diésel, el querosén, los gases de hidrocarburos, los aceites, la cera, la parafina, el coque, el asfalto y otros.

La creciente demanda de energía ha impulsado el crecimiento de la industria petrolera, causando un incremento en el uso de combustibles fósiles como el diésel y la gasolina. El uso de este tipo de combustibles ha causado impactos ambientales debido a que estos tienen un alto contenido de compuestos como plomo, azufre, benceno y aromáticos.

En vista de lo anterior Colombia decidió implementar la Norma Técnica Colombiana NTC 1380 que indica reducir el azufre en las gasolinas a 300 ppm y en el diésel a 500 ppm a partir del 31 de diciembre del 2010.[1]

ECOPETROL S.A. es la única empresa en Colombia dedicada a la exploración, producción y refinación de hidrocarburos, entre ellos la gasolina y el diésel. En el año 2007, en su refinería de Barrancabermeja con una capacidad instalada de 250000 barriles, se inició la construcción de las nuevas unidades del proyecto HDT (unidad de generación de hidrógeno, unidad de hidrotreatmento de diésel, unidad de hidrotreatmento de gasolina, unidad recuperadora de azufre, unidad *ClausPol*, unidad de tratamiento de aguas agrias y unidad regeneradora de amina) como respuesta a las necesidades ambientales en los combustibles. Estas nuevas unidades iniciaron operación en diciembre del 2009.

La unidad de hidrotratamiento de gasolina (U-4750) de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GBR) utiliza el método PRIME G+ de Axens, el cual permite eliminar una muy alta cantidad de azufre presente en la corriente de nafta proveniente de las unidades de cracking. En el proceso, el azufre reacciona con hidrógeno para mejorar la calidad del combustible permitiendo un contenido final de tan solo 300 ppm en el efluente de salida.

La U-4750 se diseñó para una carga de 18960 bbl/día de nafta pesada de *cracking*, con una relación de 35 sft³H₂/bbl de carga a 60°F, para finalmente entregar al sistema de *Blending* de gasolinas una nafta hidrotratada; producto bajo en olefinas y azufre. La Figura 1 muestra un diagrama de bloques de las secciones de carga, fraccionamiento y reacción de la U-4750 (Proceso Prime G+) existente en la GBR y, por otro lado, la Figura 2 muestra su división por secciones.

Figura 1. Diagrama de bloques del proceso Prime G+ [2].

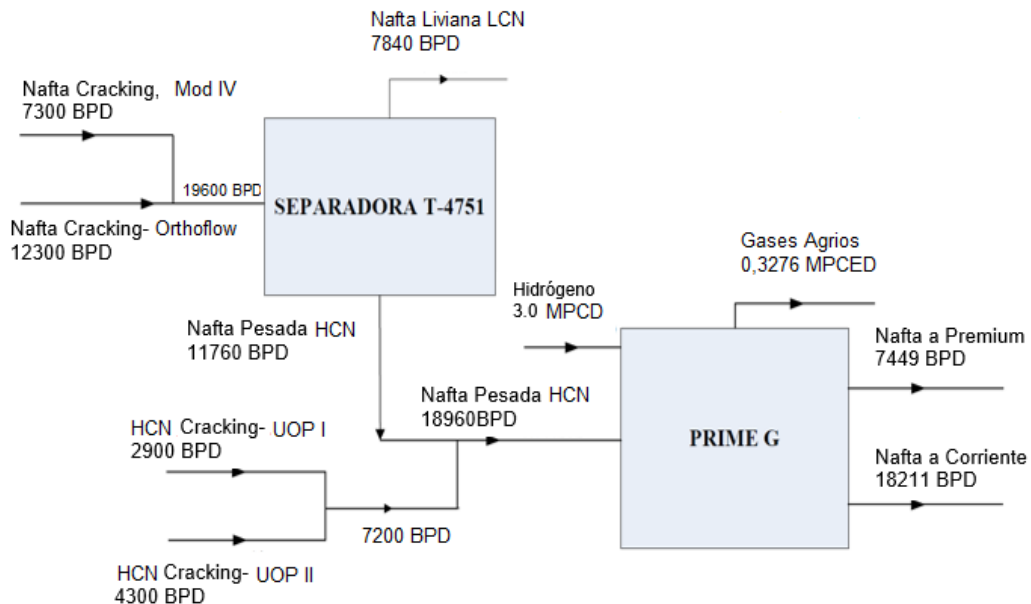
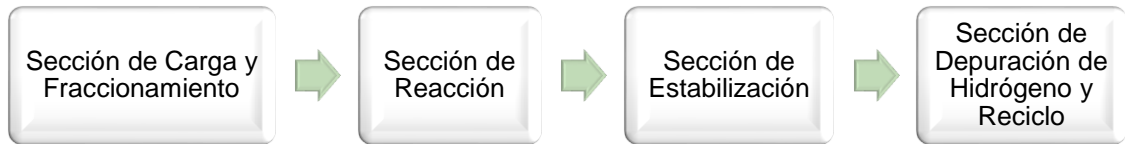
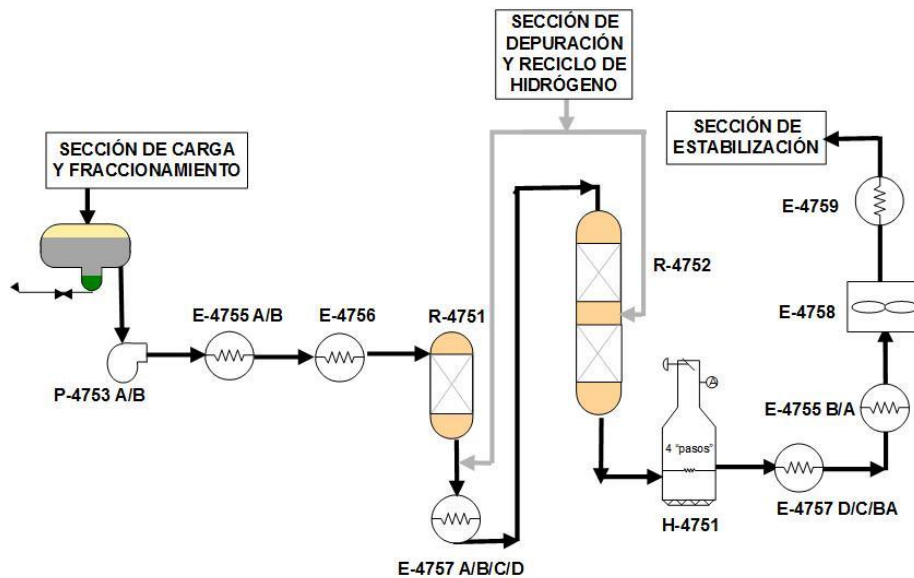


Figura 2. Esquema por secciones de la unidad de hidrotratamiento de gasolinas de la GBR.



Hoy en día, la U-4750 maneja mezclas de materias primas diferentes lo que hace que ciertos equipos no trabajen de forma apropiada. Según diseño, se necesita al menos una carga de 7200 bbl/día de nafta pesado (ver Figura 1) para garantizar un correcto funcionamiento del tren de calentamiento de la unidad (ver Figura 3), sin embargo, la entrada a refinería de petróleos cada vez más pesados han obligado a la gerencia a desviar este tipo de nafta para ser usado como diluyente de crudos, limitando en consecuencia, su inyección en la unidad de HDT.

Figura 3. Diagrama de la sección de reacción de la Unidad U-4750.



Debido a la baja mezcla con nafta pesada después de la sección de fraccionamiento de la unidad (ver Figura 1), la zona de reacción ha venido

operando con cargas mucho más livianas, provocando ineficiencia térmica en el tren de calentamiento, principalmente el horno (H-4751), que sirve para suministrar la energía necesaria a la materia prima que alimenta el reactor de diolefinas R-4751 (ver Figura 3). De hecho, en estos momentos el horno está operando en los límites de la ventana de operación y se usa exceso de oxígeno para su estabilización.

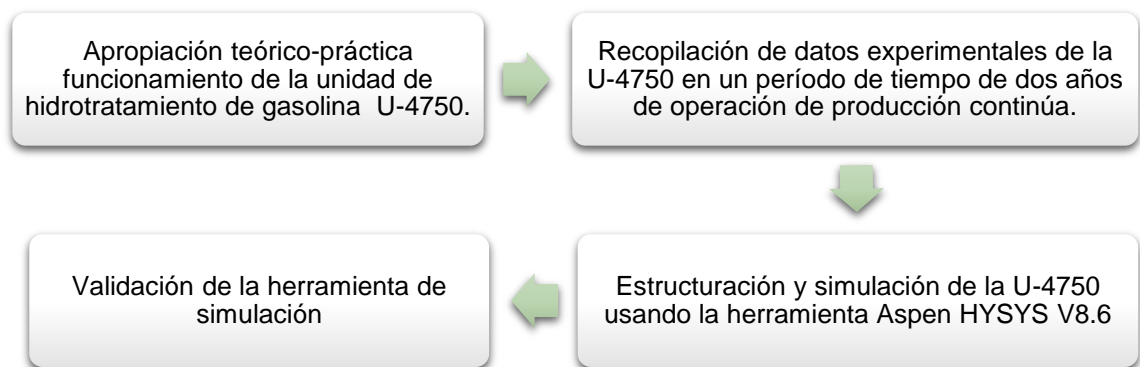
La adecuación de la unidad a las nuevas cargas es uno de los intereses de Ecopetrol S.A. ya que le permitiría mejorar la eficiencia energética de su unidad disminuyendo los costos elevados en servicios industriales.

En el marco del programa de maestría de ingeniería química de la Universidad Industrial de Santander con Ecopetrol S.A. para la formación de sus profesionales en la refinería de Barrancabermeja, se viene realizando un trabajo de aplicación que tiene como objetivo evaluar alternativas de mejora de la eficiencia térmica la U-4750 utilizando la metodología PINCH. Para ello, se hace necesario el desarrollo de una herramienta de simulación de la unidad de hidrotratamiento U-4750 que permita predecir su comportamiento en un rango de condiciones de operación diferentes a las actualmente aplicadas, constituyéndose así en el objetivo principal de esta tesis de pregrado.

1. METODOLOGÍA

Se planteó seguir 4 etapas fundamentales enunciadas en la figura 4. para desarrollar una herramienta de simulación de la unidad de hidrotreatmento de gasolina U-4750.

Figura 4. Metodología usada para el desarrollo de una herramienta de simulación de la U-4750.



1.1 APROPIACIÓN TEÓRICO-PRÁCTICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE HIDROTRATAMIENTO DE GASOLINA U-4750.

- Se realizaron algunas vistas a la unidad de hidrotreatmento de refinería de Ecopetrol S.A para su entendimiento así como una previa revisión bibliográfica acerca del proceso de hidrotreatmento de gasolina.
- Se realizaron los diagramas de flujo, identificando cada sección. (Anexo A), sus equipos y los correspondientes medidores de flujo, presión y temperatura.
- Se identificaron los códigos y nombres de cada equipo (Anexo B).
- Se estudiaron los manuales de descripción de proceso, libro de balance de masa, hojas de datos de equipos; información suministrada por Ecopetrol S.A.

1.2 RECOPIACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES DE LA U-4750 EN UN PERÍODO DE TIEMPO DE DOS AÑOS DE OPERACIÓN DE PRODUCCIÓN CONTINÚA.

Se determinó la composición de nafta pesada que entra al proceso de HDT, mediante la información suministrada por Ecopetrol S.A.; curva de destilación [] de la carga correspondiente al mes de octubre de 2014 (ver Tabla 1).

Tabla 1. Curva de destilación ASTM D86 de la carga a la T-4751 [3].

COMPONENTE	RESULTADO	UNIDAD
Punto Inicial de Ebullición	34,70	°C
5% Vol. Recobrado	-11,30	°C
10% Vol. Recobrado	53,70	°C
50% Vol. Recobrado	111,30	°C
90% Vol. Recobrado	179,00	°C
95% Vol. Recobrado	195,30	°C
Punto final de ebullición	212,20	°C
Gravedad API	57,40	Grados API
Densidad a 60° F	748,20	kg/m ³

Así mismo se obtuvo la curva de destilación (TBP) de nafta pesada proveniente de UOP I y UOP II y de la nafta hidrotratada que sale al final del proceso.(Anexo C).

Igualmente se realizó la recopilación de datos históricos de los medidores flujo (Flujo volumétrico en bbl/día), presión (en psig) y temperatura (en °F) desde el 01 de junio de 2013 hasta el 16 de diciembre de 2014. El Anexo D se muestra para cada sección los correspondientes medidores estudiados; el código de identificación es el usado en los diagramas de flujo de la GBR. En total se recopiló

datos de 20 medidores de flujo, 24 medidores de presión y 38 medidores de temperatura.

Los datos fueron inicialmente depurados (ver Anexo E) usando diagramas de caja [4] lo que permitió determinar valores atípicos que fueron posteriormente eliminados de la base de datos. Se determinó según la metodología aplicada, datos atípicos (valores superiores a $Q3 + 1,5RIC$ e inferiores a $Q1 - 1,5RIC$) y extremadamente atípicos (valores superiores a $Q3 + 3RIC$ e inferiores a $Q1 - 3RIC$).

Posteriormente, una vez eliminados los datos atípicos y extremadamente atípicos se calculó tanto la media como el intervalo de confianza del 95% para cada variable evaluada [4] de modo a estimar la calidad de la información recopilada (ver Anexo F, G, H, I).

1.3 ESTRUCTURACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA UNIDAD DE HIDROTRATAMIENTO DE GASOLINA U-4750 USANDO LA HERRAMIENTA ASPEN HYSYS V8.6.

Las herramientas básicas que se usaron en Aspen HYSYS son las siguientes:

1.3.1 Lista de componentes Se seleccionan de la librería los compuestos conocidos presentes en las corrientes del proceso como: Hidrógeno, monóxido de carbono, i-butano, agua, propano, metano, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, etano, n-butano, nitrógeno, oxígeno y DEA.

1.3.2 Paquete de fluidos Es un requisito que requiere la simulación donde se eligen uno o varios paquetes termodinámicos. Se realizó una revisión bibliográfica para seleccionar el paquete termodinámico apropiado se encontró que tres paquetes termodinámicos son los que predicen mejor el comportamiento

termodinámico: Lee Kesler Plocker [5], Soave Redlich Kwong (SRK) [6] y Peng Robinson (PR) [7,8].

Para la selección del paquete termodinámico se realizó una simulación de la sección de fraccionamiento, específicamente en la torre separadora (T-4751). La torre fue seleccionada por ser una operación que depende considerablemente de datos termodinámicos en equilibrio entre fases (líquido-vapor) para la determinación de composiciones en las corrientes. El paquete seleccionado correspondió al que presentó menor desviación con respecto a los datos reales recopilados de los medidores existentes en la unidad. La desviación fue calculada considerando solamente las corrientes más importantes (ver Anexo A):

- TI 47511: Temperatura en el plato 40 de la T-4751.
- TI47512: Temperatura en la cima de la T-4751.
- PI47505: Presión en la cima de la T-4751.
- FIC 47503: Flujo de salida en el fondo de la T-4751.
- FIC 47506: Flujo de salida en la cima de la T-4751

Por otro lado, se eligió otro paquete termodinámico: *Asme Steam* [9] para los intercambiadores que se alimentaban con agua.

Así mismo se seleccionó el paquete termodinámico *Acid gas* [10], para simular la torre absorbadora de aminas T-4752 (ver Anexo A), debido a que usa la dietanolamina (DEA) como solvente en medio acuoso con una proporción del 25% en peso.

1.3.3 Oil Manager Es una herramienta que se encuentra en el software de Aspen Hysys, que facilita la caracterización de crudos [11] utilizando como datos la prueba de laboratorio de destilación simulada (ASTM D86). Para la caracterización, el programa crea componentes hipotéticos a partir de la información experimental que se suministra (ver Anexo J). Esta herramienta fue

usada para caracterizar las corrientes de la unidad que fueron simuladas. Como el uso posterior de este trabajo es para un análisis energético, se hace de gran importancia una buena simulación de los equipos de intercambio de calor y específicamente el tren de calentamiento al reactor de HDS (R-4752) (ver Figura 3).

Todos los intercambiadores de calor se simulan como *Heat Exchanger* para intercambiadores de tubo y coraza de acuerdo con la información en los *datasheets*. Dos opciones de diseño fueron usadas *Exchanger Design End Point* y *Exchange Design Weighted* debido a que éstos son las únicas que consideran pérdidas de calor. La información suministrada para su simulación incluye: el paquete de fluidos, la caída de presión del tubo y el casco y el área de transferencia.

Como no se encontró la información suficiente en los *datasheets*, se realizaron cálculos con la ecuación 2, para encontrar el coeficiente de transferencia de energía U (ver Anexo K).

Los cálculos se realizaron utilizando el calor Q (*Duty* encontrado en *datasheet*), el área de transferencia A, (A encontrado en *datasheet*), la temperatura media logarítmica LMTD (hallado con históricos) y en otros casos se calculó con la temperatura media logarítmica corregida MTD (valor encontrado en los *datasheets*).

$$U = \frac{Q}{A \Delta T}, \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde ΔT corresponde al LMTD o MTD, según sea el caso.

A continuación se presentan las suposiciones y simplificaciones de equipos que se simularon en cada sección.

1.3.3.1 Sección de carga y fraccionamiento

- Para llevar a cabo la simulación de la torre separadora (T-4751) se seleccionó una columna predeterminada llamada *Distillation Column Sub-Flowsheet*, con rehervidor y condensador, dando opción en el condensador de reflujo total o parcial. Las especificaciones más importantes de la torre son: número de etapas, plato de alimentación, tipo de condensador, presión en la cima y el fondo, relación de reflujo y flujo de operación.
- El E-4752 corresponde al rehervidor y el *drum* D-4760 es un tambor de condensado, este conjunto de equipos se simplificó en el rehervidor de la torre que ya viene predeterminado con la columna de destilación (ver Anexo A).
- El E-4753, correspondiente al condensador de la torre, y el *drum* D-4752, que hace referencia al tambor de reflujo de la T-4751, se simplificaron en el condensador que viene predeterminado en la columna.
- La P-4751 A/B se simuló solo impulsando la corriente de salida de cima. En el diagrama de diseño real impulsa el reflujo, pero no fue posible implementarla dentro de la configuración de la torre (ver Anexo A).de esta manera.
- El filtro F-4752 y el *drum* D-4751 se eliminaron, porque se asumió que la carga aporta una cantidad de agua y de partículas que puede despreciarse en la simulación por no afectar los balances de masa y energía.

1.3.3.2 Sección de reacción

- El filtro F-4751 no se incluyó en la simulación ya que el material particulado es despreciable y se puede asumir que no afecta los balances de masa y energía (ver Anexo A diagrama de proceso de diseño y diagrama de simulación).

- Las concentraciones de compuestos azufrados es baja tanto en la entrada como en la salida de la sección de reacción, llevando a que la composición de estas corrientes pueda ser asumida casi igual. En consecuencia, propiedades fisicoquímicas y termodinámicas de entrada y salida de los reactores, como la capacidad calorífica, pueden ser consideradas como constantes ante una variación en la conversión de la reacción. Por lo tanto, se opta por simular los reactores (R-4751 y R-4752) como separadores, los cuales permiten la opción de cambio de temperaturas, presión y aumento de la concentración de H₂, si es necesario.
- Se realizó la inyección de hidrógeno como esta en el diseño, pero esta corriente se caracterizó individualmente de acuerdo la información suministrada, (ver Anexo L). No se realizó con la corriente de salida de la sección de depuración de hidrógeno, ya que no se simuló en estado dinámico.
- El horno (H-4751) se simuló solo con parte radiante y basado en la información encontrada en el *datasheet* donde se indica que opera con exceso de aire del 20% y una eficiencia del 79.70%.

1.3.3.3 Sección de estabilización

- Para llevar a cabo la simulación de la torre estabilizadora (T-4753) se selecciona una columna predeterminada llamada *Distillation Column Sub-Flowsheet*, el rehervidor es considerado como un horno (H-4752) predeterminado y el E-4761 y E-4762 correspondientes al condensador de la torre se simularon como un solo intercambiador el E-4761.
- El tambor de reflujo D-4756 y la bomba P-4755 no se simularon ya que estos equipos van dentro de la configuración del reflujo (ver anexo A).

1.3.3.4 Sección de depuración hidrógeno y reciclo

- La corriente de salida del compresor C-4751 (ver anexo A), es el hidrógeno de reciclo que alimenta a los reactores (R-4751, R-4752), esta corriente se simuló de manera independiente. Debido a que se está simulando en estado estacionario, entonces hasta que no exista una corrida de la simulación en estado dinámico no se tiene el hidrógeno de reciclo que se necesita para correr todos los equipos de la simulación hasta el *drum* D-4754, que es de donde proviene la corriente que alimenta la sección de depuración hidrógeno y reciclo. Igualmente se hizo una comparación de la corriente simulada con la corriente caracterizada entregada por la refinería (ver Anexo L), para confirmar la validez de la simulación.

1.4 VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

Se definieron algunos flujos, temperaturas y presiones como variables importantes para validar los resultados de la simulación (ver Anexo M). La validación consistió en la comparación entre los valores de las variables descritas anteriormente simuladas y la media calculada en el ítem 3.2 usando valores experimentales (reales) de la unidad de hidrotratamiento en la ventana de tiempo definida. Se toleró una desviación no superior al 20% entre los datos simulados y los datos reales para validar la simulación.

$$\delta = \text{Abs} \left[\frac{\text{Valor Simulador} - \text{Valor real}}{\text{Valor real}} \right] * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

2. RESULTADOS

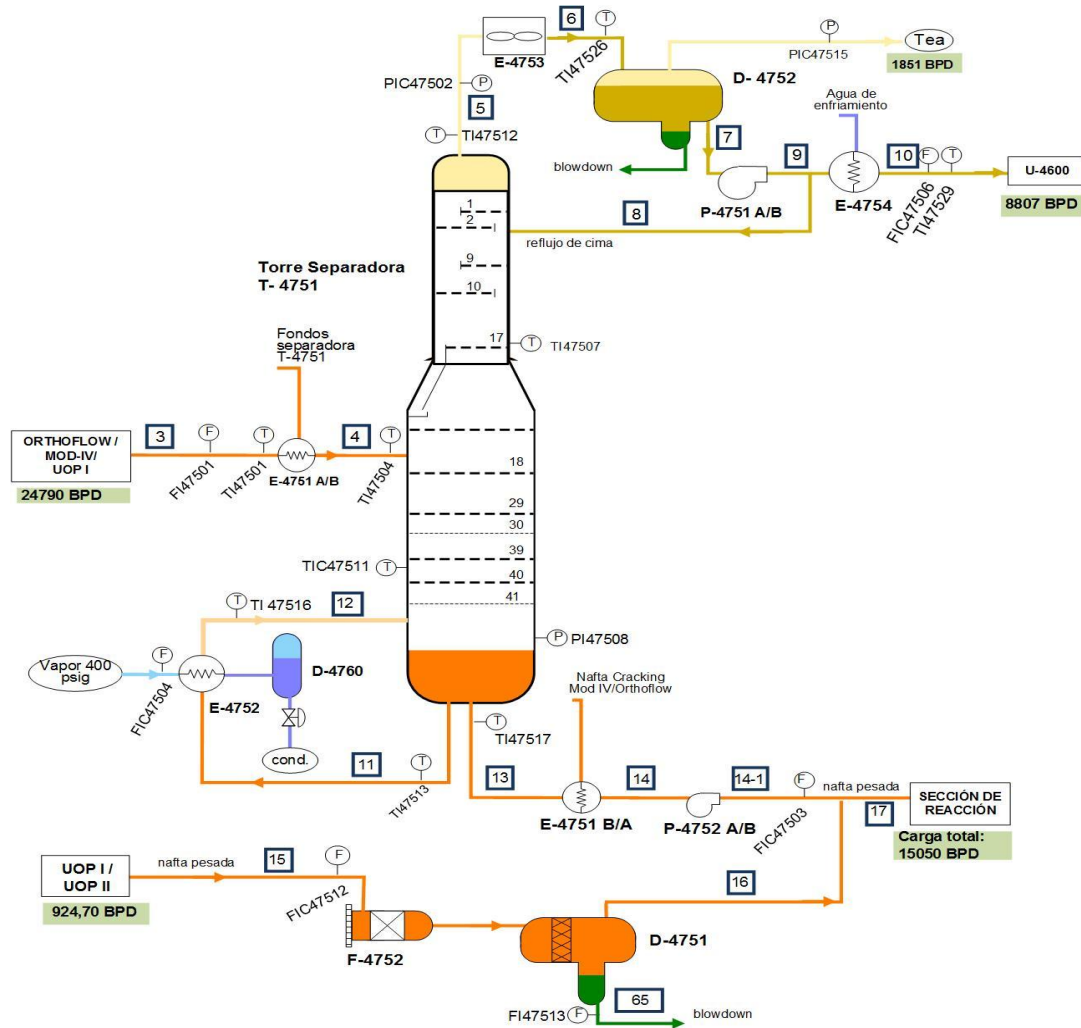
2.1 DIAGRAMAS DE CADA SECCIÓN Y EXPLICACIÓN DE CADA SECCIÓN

Se muestran diagramas para cada sección, con todos los equipos (Ver códigos de equipos en anexo B), los medidores usados y en el cuadro azul el número de la corriente y una explicación del proceso que sucede en cada sección.

2.1.1 Sección de carga y fraccionamiento El diagrama de sección de carga y fraccionamiento es presentado en la Figura 5. La nafta pesada procedente de la *Cracking Orthoflow* y Modelo IV (corriente 3), se precalienta en el intercambiador E-4751A/B y entra a la torre separadora T-4751 (al plato No.18) en donde se separaran los livianos de la corriente de carga. El fondo de la torre es calentado por medio de un rehervidor con vapor el E-4752. La corriente del tope se enfría en el E-4753 y se acumula en el D-4752. Según el libro de proceso la relación de reflujo/carga es de 0.15 %peso y por histórico esa relación de reflujo/carga es de 0.21 %peso. Este reflujo de la corriente de nafta liviana se recircula a la cima de la T-4751 para controlar la temperatura de ésta y el resto de la corriente 10 se envía a la planta de soda U-4600.

La corriente de fondo (corriente 13), le transfiere calor a la corriente de carga a la torre en el E-4751A/B por el casco, y se une la corriente de HCN con la corriente que proviene del D-4751, el cual ha sido alimentado con una mezcla de naftas pesadas de las *UOP 1* y *UOP 2* que previamente han pasado por el filtro F-4752, evitando dar paso a partículas que afecten los lechos del catalizador.

Figura 5. Diagrama de sección de carga y fraccionamiento con identificación de corrientes, medidores y flujos volumétricos entregados y recibidos.

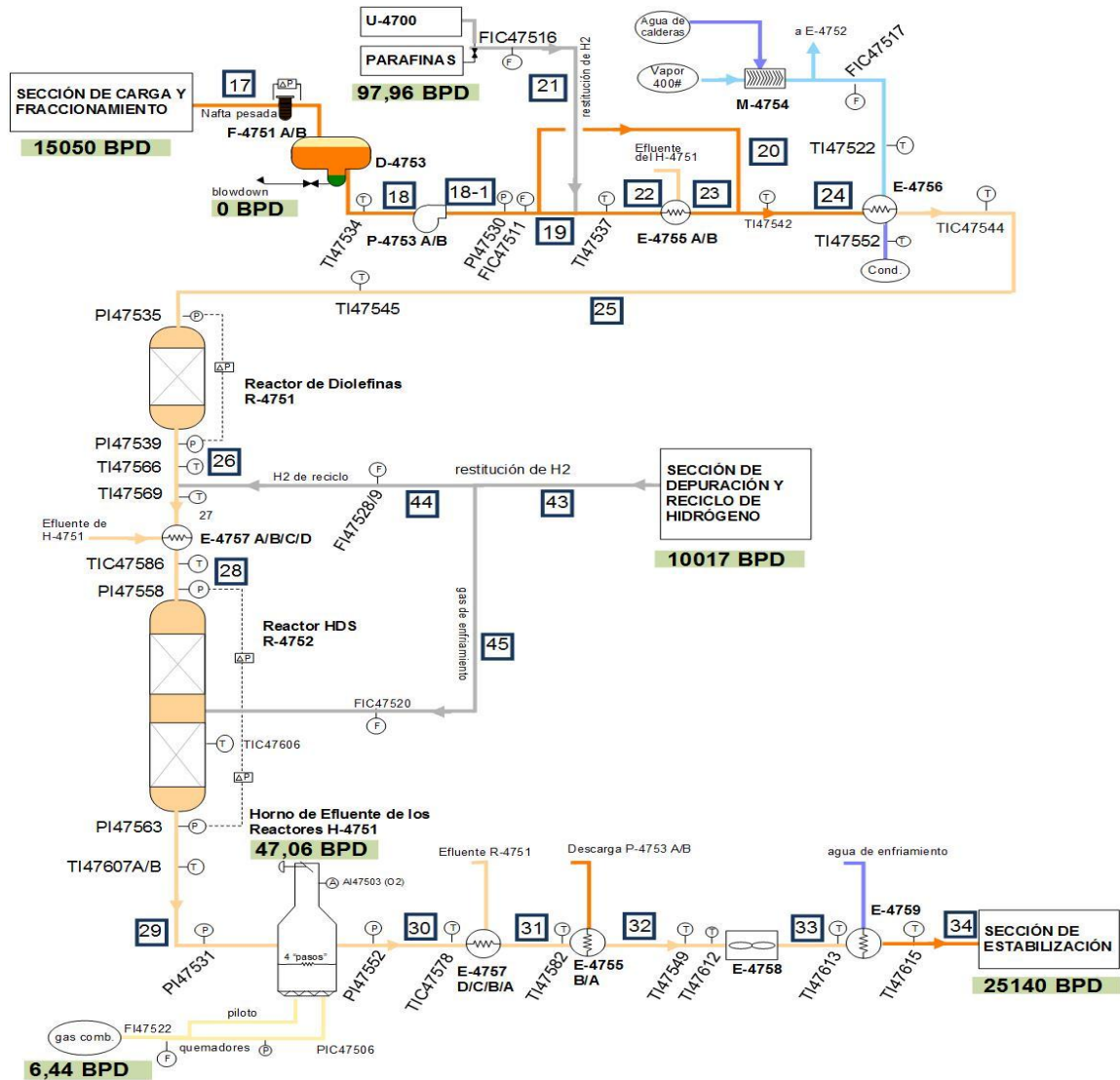


2.1.2 Sección de reacción El flujo de la corriente 17, ingresa al tambor de carga D-4753, la corriente de HCN pasa a través de los intercambiadores de calor E-4755, donde se precalienta con el efluente del H-4751, previamente se hace una inyección de restitución de hidrógeno y pasa al E-4756, con el que se controla la temperatura de entrada al R-4751.

La corriente 25 que sale del intercambiador E-4756 entra al primer reactor R-4751. La carga ingresa por la parte superior y se distribuye en el lecho catalítico

HR-845, en donde ocurren la conversión de mercaptanos livianos y sulfuros livianos en compuestos azufrados de mayor peso; se isomerizan las olefinas externas a olefinas internas y se hidrogena cualquier diolefina de la carga, evitando la formación de gomas en el R-4752.

Figura 6. Diagrama de sección de reacción con identificación de corrientes, medidores y flujos volumétricos entregados y recibidos.



El producto del reactor de diolefinas R-4751 corriente 26, es calentado en el E-4757, con el efluente del H-4751 (corriente 30) que va por el tubo y entra al Reactor HDS R-4752 por la parte superior, luego se distribuye uniformemente a través de los lechos catalíticos HR-806, en donde se controlan presión y reciclo de hidrógeno. Dado que no ocurren reacciones de craqueo en el reactor HDS de la HDT de gasolina durante la desulfurización, se produce esencialmente un rendimiento líquido del 100% mientras se mantiene el RVP (Presión de vapor real) de la gasolina en un valor constante.

La carga de nafta efluente del R-4752 (corriente 29), se calienta en el H-4751 e intercambia temperatura en el E-4757 con el efluente del R-4751 con el fin de mantener las condiciones de operación adecuadas para el proceso de reacción en el R-4752. Luego la corriente 31 entra por el lado del casco al E-4755, seguidamente entra al enfriador E-4758 y por último al E-4759.

2.1.3 Sección de estabilización En el anexo A muestra el diagrama real detallado de la sección de estabilización y el diagrama de simulación

La nafta (corriente 46) que proviene del tambor separador D-4754 se calienta por la carcasa en el intercambiador E-4760 A/B/C con el efluente de la T-4753 antes de entrar a la torre estabilizadora T-4753. La corriente 51 de nafta pesada entra a la torre al plato No. 11. La nafta se separa en dos corrientes (52 y 59): la fracción liviana sale por el tope (52) y pasa a ser enfriada en los intercambiadores E-4761 y E-4762, luego se acumula en el tambor de reflujo D-4756. La fracción líquida del tambor la toman las bombas P-4755A/B para posteriormente dividirse en dos corrientes: una que va como reflujo de cima de la T-4753 y el excedente que se envía hacia la unidad de destilación atmosférica U-2100, y la otra parte sale como gas agrio (corriente 56) que va a la unidad de hidrotratamiento de diésel U-4700.

La segunda corriente (59) sale por el fondo de la T-4753 y es succionado con la bomba P-4756. Una parte de la fracción de fondo (nafta hidrotratada) se recircula hacia la torre mediante un control de temperatura para lo cual se calienta previamente a través H-4752. La otra parte de la corriente (61-1) continúa su flujo e intercambia por el lado del tubo en los E-4760 A/B/C con la carga a la T-4753, que proviene del D-4754 (corriente 46); se enfría con aire en el E-4763 y luego con agua en el E-4764, para finalmente ser enviado a los tanques de almacenamiento de nafta craqueada K-806.

2.1.4 Sección de depuración de hidrógeno y recicló En el anexo A se observa el diagrama diseño de esta sección y el diagrama de simulación.

El gas agrio con hidrógeno (corriente 49), proveniente del tambor separador D-4754, entra por la parte inferior de la torre absorbadora de gases T-4752, donde se le retiran los compuestos de azufre con un líquido absorbente; la dietanolamina (DEA) proveniente de la unidad regeneradora de aminas U-4860.

En la sección inferior de la torre absorbadora T-4752, el gas agrio con hidrógeno que asciende se pone en contacto con la corriente de DEA que descarga la bomba P-4754. Esta corriente (49-1) de DEA desciende por la torre para absorber los compuestos de azufre.

La corriente de DEA, rica en compuestos de azufre, llega al fondo de la torre en donde sale por presión hacia la unidad regeneradora de aminas U-4860. El hidrógeno purificado sale por la cima de la T-4752 (corriente 36), donde se une a una línea de hidrógeno de restitución (corriente 38) proveniente de la planta de generación de hidrógeno U-4650 o de la unidad de parafinas U-1150. Esta mezcla se lleva al tambor separador D-4755, de donde succiona el compresor de recicló C-4751, de tipo centrífugo, de donde sale el hidrogeno (corriente 43) que es enviado a la sección de reacción, donde se derivan dos flujos de hidrógeno: una

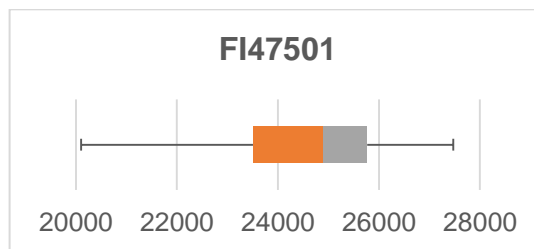
parte se inyecta en la corriente de salida del R-4751 y la otra en la parte media del R-4752.

2.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DATOS

La corriente más importante del proceso es la 3 (ver Figura 5) que es la mezcla de la carga que alimenta la T-4751 y que corresponde a la mezcla de *Orthoflow*, modelo IV, UOP I y UOP II.

Para la corriente 3 se recibieron datos históricos desde el 1 de junio del 2013 hasta el 16 de diciembre de 2014 con un total de 561 datos, a los cuales se les realizó una depuración de datos mediante diagrama de caja [4] con el fin de conocer los valores atípicos (La Figura 7 muestra el caso para el flujo volumétrico de carga a la torre T-4751).

Figura 7. Diagrama de caja del flujo de carga a la T-4751 (Valor dado en bbl/día).



A partir de la figura se puede determinar los siguientes valores:

- Q1: Primer cuartil = 23503,09195
- Q2: Segundo cuartil o mediana = 24907,3246
- Q3: Tercer cuartil = 25769,55809
- RIC: Rango intercuartilico = 2266,466143

Una vez eliminados los valores atípicos, según como se indicó en la metodología, se procedió a calcular el valor promediado y el intervalo de confianza a 95% para cada variable. La Tabla 3 muestra el caso para la medida de flujo dada por el medidor FI47501 correspondiente al flujo de carga a la torre T-4751.

Tabla 2. Intervalo de confianza medidor de flujo FI47501 (Valor dado en bbl/día).

MEDIDOR DE FLUJO FI47501	
Media (X)	24785,590
Desviación Estándar (S)	1491,698
Muestra (N)	561,000
Error alfa	0,050
Error estándar de la media	62,980
Límite inferior de confianza	24725,121
Límite superior de confianza	24846,059

El análisis de los otros medidores evaluados se encuentra en el anexo F, G, H, I.

2.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN

Los resultados presentados a continuación están divididos en cuatro partes: una primera que ilustra cómo se construyeron las corrientes de entrada a la unidad teniendo en cuenta los Assay proporcionados por Ecopetrol de las cargas procesadas en la ventana temporal objeto de este estudio (ver detalle metodológico en el ítem 2.2). La segunda parte corresponde a la selección del paquete termodinámico que va a ser usado en la etapa de simulación de la unidad. La tercera parte corresponde a la presentación de los resultados arrojados

por la simulación para cada equipo simulado en la unidad. Finalmente, la cuarta parte corresponde a la validación de la simulación mediante comparativo por método estadístico de algunas condiciones de operación simuladas con los datos reportados por medidores en Refinería.

2.3.1 Lista de componentes La Tabla 4 presenta la caracterización del crudo de una de las corrientes de entrada (corriente 3, ver Figura 5) y en el anexo Q se evidencia el reporte que hace Aspen HYSYS detallando el flujo molar, el flujo másico, y el flujo volumétrico y sus respectivas fracciones.

Tabla 3. Composición caracterizada de corriente 3 a partir de la ASTM D86.

COMPUESTO O CORTE	FRACCIÓN MOL	COMPUESTO	FRACCIÓN MOL
Ethane	0,062	NBP[2]223*	0,068
Propane	0,012	NBP[2]249*	0,066
n-Butane	0,029	NBP[2]274*	0,065
NBP[2]46*	0,009	NBP[2]304*	0,114
NBP[2]73*	0,015	NBP[2]322*	0,071
NBP[2]96*	0,057	NBP[2]350*	0,045
NBP[2]121*	0,068	NBP[2]376*	0,040
NBP[2]146*	0,068	NBP[2]402*	0,038
NBP[2]172*	0,069	NBP[2]428*	0,036
NBP[2]197*	0,070		

La corriente 3 (Figura 7) es la nafta que proviene de *Orthoflow* y Modelo IV, la cual está constituida por una mezcla de naftas liviana y pesada desde etano, hasta NBP de 428 °F en comparación con la de la corriente 16 (Anexo N) que es la mezcla de nafta pesada de las unidad *Cracking UOP I* y *UOP II*, que empieza en NBP 189 °F (*Normal Point boiling*) y termina en el NBP 456°F.

2.3.2 Paquete de fluidos Como se indicó en la metodología se realizaron simulaciones de la torre de fraccionamiento T-4751 usando tres paquetes termodinámicos diferentes; Lee Kesler Plocker, Soave Redlich Kwong (SRK) y Peng Robinson (PR). La Tabla 4, presentan los valores obtenidos por simulación, los valores experimentales registrados en Refinería y la comparación entre ellos (% de desviación entre valores, ecuación 1) de 5 medidores seleccionados en la torre y que son considerados como los más sensibles al cambio del modelo termodinámico. Los medidores seleccionaron fueron (Ver Figura 5):

- El medidor TI 47511, corresponde a la temperatura en el plato 40, hace parte del lazo de control de temperatura en el fondo de la torre usado para controlar el corte de la nafta y su rango de operación el cual debe estar entre 320-338°F [12]
- El TI 47512, corresponde al medidor de temperatura en la salida de la cima.
- El PI47505 corresponde al medidor de presión en la salida de la cima.
- El FIC47503 corresponde al flujo del fondo de la torre.

Tabla 4. Comparativos entre los valores reales medidos en planta y los datos simulados usando los paquetes termodinámicos de Lee Kesler Plocker, Soave Redlich Kwong y Peng Robinson.

MEDIDOR	DATO REAL	LEE KESLER PLOCKER		SOAVE REDLICH KWONG.		PENG ROBINSON	
		SIMULADO	δ	SIMULADO	δ	SIMULADO	δ
TI 47511	285,16	314,4	10,25	313,5	9,94	313,4	9,9
TI47512	175,16	192,9	10,13	194,2	10,87	194,4	10,98
PI47505	21,68	21,75	0,32	21,75	0,32	21,75	0,32
FIC 47503	14404,59	14000	2,81	14120	1,98	14150	1,77
FIC 47506	11060,9	8951	19,08	8820	20,26	8789	20,54

El FIC47506 corresponde al medidor de flujo de la cima de la torre usado para el control de la temperatura y esa temperatura se controla mediante el reflujo, su

rango de operación corresponde al 30-40%V de la carga de entrada a la torre [12] es decir 7436.30- 9915.067 bbl/día.

- De acuerdo con las tablas, se observa que comparando las desviaciones observadas (ecuación 1), éstas resultan ser muy cercanas, permitiendo concluir que la simulación del fenómeno de transferencia térmica puede representar eficazmente lo que realmente sucede en Refinería utilizando cualquiera de los tres paquetes termodinámicos evaluados. Basado en lo anterior, se decide trabajar con Peng Robinson.

Por otro lado, las desviaciones observadas para cada medidor son en su mayoría de aproximadamente 10% o menos, únicamente el medidor de flujo FI 47506 (correspondiente al flujo de cima) muestra un porcentaje de desviación alto; de aproximadamente 20%. Sin embargo, aunque este error puede considerarse alto, no llega a afectar la simulación de la unidad de hidrotatamiento ya que esta corriente es enviada a la planta de soda U-4600 a diferencia del fondo de la torre que es la que vendrá a alimentar los reactores catalíticos de la unidad de hidrotatamiento estudiada.

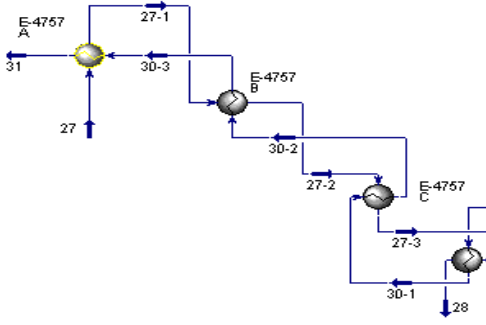
2.3.3 Características de equipos Para cada equipo, el simulador Aspen Hysys V8.6 arroja resultados según los datos de entrada suministrados ver Anexo R. Se presenta a continuación para los equipos principales, los datos que fueron simulados, los datos que fueron suministrados tomados de los datasheets y los datos suministrados por medición real en refinería (históricos).

Tren de intercambiadores E-4757 A/B/C/D.

Como se puede observar en la Tabla 5, si se considera la exigencia del proceso que necesita una temperatura de la corriente fría (carcaza) en salida del tren de

558°F así como caídas de presión de diseño (datasheets), se observa que la simulación no es correcta como lo muestran las temperaturas cruzadas ya que no se estaría cumpliendo con las leyes de la termodinámica. Este error es atribuido a la corriente caliente (tubo) la cual inicialmente pasa por el horno (H-4751) que según indicaciones de funcionarios Ecopetrol, no está funcionando adecuadamente.

Tabla 5. Información suministrada y simulada del intercambiador de calor E-4757 A/B/C/D.

EQUIPO: E-4757 A/B/C/D	DATOS	ORIGEN
	Temp. cte. 27 = 288,00 °F	Simulado
	Temp. cte. 31 = 272,80 °F	Simulado
	Temp. cte. 30 = 545,70 °F	Simulado
	Temp. cte. 28 = 558,60 °F	Histórico
	ΔP casco = 8 psi	Datasheet
	ΔP tubo = 22 psi	Datasheet
Overall UA =	Calculado	
1370412,84 Btu/°F*h	con	
	Datasheet	

La única forma de aumentar el intercambio de energía del tren de calentamiento es elevando la temperatura de la corriente 30 para lograr una diferencia de temperaturas entre corrientes frías y calientes aceptable encontrando varias opciones:

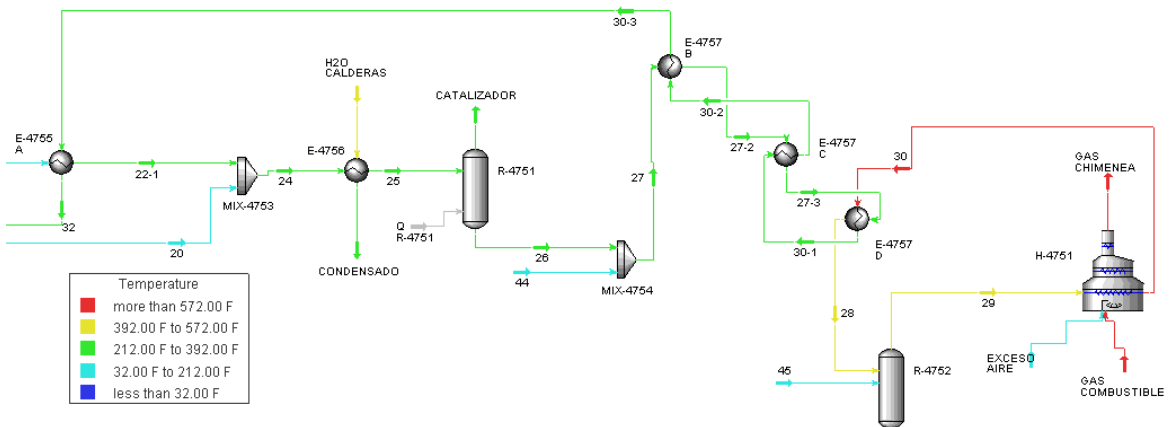
Una alternativa para evitar esa situación es elevar la capacidad calorífica de la corriente 30 que sale del horno: (ver Figura 8).

- Esto se puede lograr inyectando un mayor flujo de H₂

- Eliminando la unidad A de intercambio del E-4757 A/B/C/D y la unidad B del E-4755 A/B, conservando los ΔP de tubo y casco del diseño del equipo, que fue la opción que se probó.

Es importante aclarar que la corriente 27 entra al tren de intercambio para precalentarse antes de entrar al R-4752, (corriente 28).siendo esa temperatura por libro de diseño aproximadamente de 500 °F una condición importante para el proceso de hidrodesulfuración.y actualmente por históricos se encuentra en 558,64 °F.

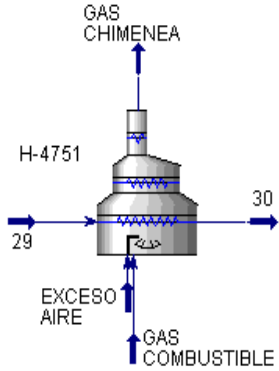
Figura 8. Esquema de simulación con eliminación de unidades de intercambio.



Horno H-4751

En el caso de este horno H-4751 (ver Tabla 6), éste se encuentra diseñado para un flujo de gas combustible de 107 bbl/día, sin embargo, actualmente solo se alimenta 6,44 bbl/día solicitando un calentamiento de tan solo 2°F.

Tabla 6. Información suministrada y simulada del horno H-4751.

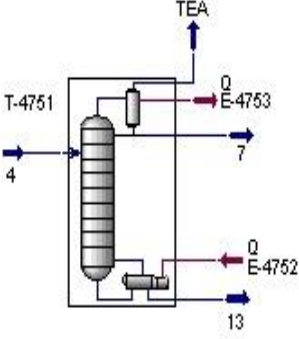
EQUIPO: H-4751	DATOS	ORIGEN
	Temp. cte. 29 = 543,7 °F	Simulado
	Presión cte. 29 = 262 psig	Simulado
	Flujo cte. 29 = 25140 bbl/día	Simulado
	Exceso aire = 20%	Data heet
	Flujo GAS COMBUSTIBLE = 6,44 bbl/día	Histórico
	Temp. GAS COMBUSTIBLE = 1616 °F	Datashet
	Presión GAS COMBUSTIBLE = 340 psig	Datashet
	Flujo GAS CHIMENEA = 47,06 bbl/día	Simulado
	Temp. cte. 30 = 545,7 °F	Simulado
	Zona reacción = radiante	Datashet
Eficiencia horno = 79%	Datashet	

Este equipo está operando con un mínimo de combustible de aproximadamente 6, 44 bbl/día (dato histórico) respecto al diseño que es de 120,44 bbl/día, debido a la poca presencia de nafta pesada en la corriente 15 (ver Figura 1), debido a que el flujo volumétrico de nafta pesada al inicio del proceso en la sección de carga es de 970 bbl/día (dato histórico) y está diseñado para un flujo de 7200 bbl/día.

Torre separadora T-4751

A continuación, la Tabla 7 muestra la torre separadora T-4751, indicando los datos usados para simularlo, las fuentes de obtención y los datos simulados.

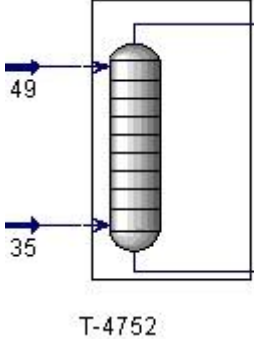
Tabla 7. Información suministrada y simulada de la torre separadora T-4751.

EQUIPO: T-4751	DATOS	ORIGEN
	Temp cte 4 = 206,121	Histórico
	Presión condensador = 15,75 psig	Histórico
	Presión rehervidor = 26,62 psig	Histórico
	ΔP condensador = 6 psi	Data sheet
	ΔP rehervidor = 0,50 psi	Data sheet
	Relación de reflujo: 0,215	Calculado
	Tipo Condensador = parcial	Data sheet
	Flujo de vapor no condensado = 311,00 lbmol/h	Calculado
	Temp cte 13 = 326,32 °F	Histórico
	Número platos: 41	Data sheet
Plato alimentación = 18	Data sheet	
Temp cte 6 = 194,50 °F	Simulado	
Temp plato 40 = 313,70 °F	Simulado	

El flujo molar de vapor no condensado hace referencia al flujo que entra al condensador y no es posible condensarse con las condiciones de operación del equipo. Se trata del etano y propano que entran con la carga y que no son condensados a la temperatura y presión de operación son enviados a la tea.

Torre absorbedora de aminas T-4752

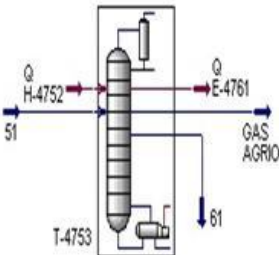
Tabla 8. Información suministrada y simulada de la torre absorbedora de aminas T-4752.

EQUIPO: T-4752	DATOS	ORIGEN
	Temp. cte. 35 = 95,12 °F	Histórico
	Temp. cte. 49 = 115 °F	Simulado
	Temp. cte. 36 = 141,7 °F	Simulado
	Temp. cte. 50 = 120,8 °F	Simulado
	Presión cima = 202 psig	Data sheet
	Presión fondo = 204 psig	Data sheet
	Número platos = 20	Data sheet
	Solvente cte. 49 = 9177 bbl/día	Calculado
Flujo cte. 49 = 9012 bbl/día	Simulado	

La corriente 36 se une con el hidrógeno y el gas natural, en el anexo L se puede ver la composición simulada y la muestra real.

Torre estabilizadora T-4753

Tabla 9. Información suministrada y simulada de la torre estabilizadora T-4753.

EQUIPO: T-4753	DATOS	ORIGEN
	Temp. cte. 51 = 379 °F	Histórico
	Presión condensador = 93,53 psig	Histórico
	Presión rehervidor = 96,93 psig	Histórico
	Relación reflujo: 0,1	Calculado
	Tipo Condensador = reflujo total	Data sheet
	Flujo de vapor no condensador = 245 lbmol/h	Calculado
		Simulado

EQUIPO: T-4753	DATOS	ORIGEN
	Temp. cte. 61 = 455,40 °F	Data sheet
	Número platos = 29	Data sheet
	Plato alimentación = 11	Simulado
	Temp. cte. GAS AGRIO = 367,4 °F	

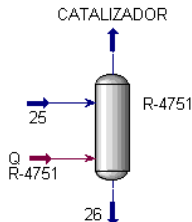
La corriente 61 corresponde a la gasolina hidrotratada en la tabla 16 en la validación se observa su composición y su comparación con la composición real.

Reactores R-4751 y R-4752

Las Tablas 12 y 13 muestran los datos simulados y datos suministrados al simulador del R-4751 y R-4752, respectivamente.

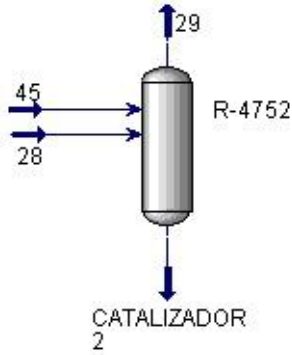
Los reactores no se simularon teniendo en cuenta cinética, entonces las corrientes de salida llamadas catalizador hacen parte de las suposiciones.

Tabla 10. Información suministrada y simulada en el reactor de diolefinas R-4751.

EQUIPO: R-4751	DATOS	ORIGEN
	Temp. cte. 25 = 285,30 °F	Simulado
	Temp. cte. 26 = 342 °F	Histórico
	Presión cte. 25 = 377 psig	Simulado
	$\Delta P = 10$ psig	Data sheet
	Flujo CATALIZADOR = 30,56 bbl/día	Simulado
	Flujo cte. 26 = 15120 bbl/día	Simulado

En el caso de R-4751 se puede suponer que el flujo que sale por la corriente denominada CATALIZADOR corresponde, según libro de diseño [2] a las diolefinas que deben ser removidas antes de entrar al R-4752 o al coque y los metales depositados sobre el catalizador que impiden el paso de las moléculas de hidrocarburo hacia los sitios activos del catalizador reduciéndole así su actividad.

Tabla 11. Información suministrada y simulada en el reactor de hidrosulfuración R-4752.

EQUIPO: R-4752	DATOS	ORIGEN
	Temp. cte. 45 = 198,70 °F	Histórico
	Temp. cte. 28 = 558,60 °F	Histórico
	Temp. cte. 29 = 543,70 °F	Simulado
	Presión cte. 45 = 319 psig	Histórico
	Presión cte. 28 = 287 psig	Simulado
	Presión cte. 29 = 262 psig	Simulado
	$\Delta P = 25$ psig	Data sheet
	Flujo CATALIZADOR = 0 bbl/día	Simulado
	Flujo cte. 29 = 25140 bbl/día	Simulado
Flujo cte. 45 = 1566 bbl/día	Histórico	

Como indica el libro de proceso [2] durante la desulfurización, se produce un rendimiento de líquido del 100%, el valor del flujo del catalizador simulado fue de 0 bbl/día, cumpliendo con la condición del diseño de proceso.

Los equipos como *drums*, bombas y compresores se detallan en el anexo P, así mismo, en el anexo R se detallan los cálculos reportados por Aspen HYSYS, para cada equipo.

2.4 VALIDACIÓN DE LA SIMULACIÓN

Las Tablas 12, 13, 14 y 15 muestran los datos promedios y sus intervalos de confianza calculados a partir de los valores registrados en refinería en la ventana de observación analizada. Igualmente se presenta los datos obtenidos por la simulación y el porcentaje de desviación entre los dos datos según la Ecuación 1

Tabla 12. Validación de la sección de carga y fraccionamiento.

SECCIÓN DE CARGA Y FRACCIONAMIENTO				
Medidor	Dato histórico	IC	Dato simulado	% desviación
TI47512	175,47	± 0,175	194,50	10,85
PI47505	21,68	± 0,033	21,75	0,32
FIC47506	11060,90	± 45,709	8807,00	20,38
TI47529	96,63	± 0,096	87,54	9,41
TIC47511	285,16	± 0,192	313,70	10,01
FIC47503	14404,59	± 44,299	14130,00	1,91

El medidor FIC47506, nos arroja una elevada desviación debido a que en la caracterización de la corriente 3 que se realizó con datos reales ,(ítem 3.3.1) no debía entrar compuestos ligeros como etano, propano y butano, por tanto luego de la destilación estos compuestos salen por la cima.

Tabla 13. Validación de la sección de reacción.

SECCIÓN DE REACCIÓN				
Medidor	Dato histórico	Intervalo Confianza	Dato simulado	% desviación
FIC47511	15328,62	± 40,163	14300,00	6,71
TI47537	144,30	± 0,135	147,70	2,36

SECCIÓN DE REACCIÓN				
Medidor	Dato histórico	Intervalo Confianza	Dato simulado	% desviación
TI47542	297,13	± 0,618	220,00	25,96
TI47545	327,67	± 1,088	263,40	19,61
PI47535	361,47	± 1,239	347,00	4,00
PI47539	343,45	± 0,088	337,00	1,88
PIC47543	337,91	± 0,111	337,00	0,27
TI47569	253,55	± 0,641	287,90	13,55
PI47558	257,61	± 0,106	287,00	11,41
PI47563	243,89	± 0,184	262,00	7,43
TI47607 A/B	607,38	± 0,667	543,70	10,48
PI47552	237,52	± 0,061	262,00	10,31
TIC47578	628,11	± 0,891	545,70	13,12
TI47582	313,36	± 0,471	272,70	12,98
TI47612	248,02	± 0.234	236,60	4,60

Los medidores de temperatura TI47542 y TI47545 arrojan un porcentaje de error alto debido dos condiciones:

El cambio de catalizador esta próximo y esto afecta las temperaturas de los reactores y como consecuencia del mal funcionamiento del tren de calentamiento, el medidor TI 47542 está ubicado después del E-4755 que es alimentado por el efluente del horno por el casco.

Tabla 14. Validación de la sección de depuración de hidrógeno y reciclo.

SECCIÓN DE DEPURACIÓN DE HIDRÓGENO Y RECICLO				
Medidor	Dato histórico	Intervalo Confianza	Dato simulado	% desviación
PIC47571	204,99	± 0,002	146,00	28,78
TI47620	94,83	± 0,064	95,12	0,31
TI47625	96,45	± 0,069	110,00	14,05
PI47588	183,28	± 0.068	202,00	10,21
TT47627	106,80	± 0,072	121,90	14,14
TI47628	198,71	± 0,159	220,40	10,92
A/B				

El medidor PIC 47517 está ubicado después del D-4754 (Ver anexo A) , en este drum la presión de salida corresponde a la misma de entrada por tanto el simulador arroja una presión por debajo del valor histórico debido a que antes del drum se encuentra el tren de intercambio E-4757 D/C/B/A el cual fue simulado con un ΔP tubo = 22 psi (dato de diseño, ver Tabla 5), indicando este intercambiador realmente no está operando a esa caída de presión sino aun ΔP tubo= 10 psig

Tabla 15. Validación de la sección de estabilización.

SECCIÓN DE ESTABILIZACIÓN				
Medidor	Dato histórico	Intervalo Confianza	Dato simulado	% desviación
PI47614	91,57	± 0,034	93,53	2,14

En esta sección se contaron con pocos datos, los medidores TI 47652 y TI 47653, no tenían ningún registro.

Pero se contó con una muestra de laboratorio ASTM D86 (Ver Anexo C), de la gasolina hidrotratada la cual se caracterizó para conocer sus cortes tabla 18 y se

comparó con la corriente (64), que corresponde a la nafta hidrotratada simulada. Encontrando los mismos cortes.

Tabla 16. Composiciones simulada y real de la gasolina hidrotratada.

Composición fondo simulada Corriente 64		Composición caracterizada de la ASTM D6	
NBP[2]172*	0,024	NBP[5]166*	0,066
NBP[2]197*	0,092	NBP[5]196*	0,084
NBP[2]223*	0,108	NBP[5]218*	0,137
NBP[2]249*	0,112	NBP[5]250*	0,112
NBP[2]274*	0,113	NBP[5]271*	0,183
NBP[2]304*	0,198	NBP[5]300*	0,076
NBP[2]322*	0,119	NBP[5]329*	0,083
NBP[2]350*	0,071	NBP[5]353*	0,116
NBP[2]376*	0,061	NBP[5]381*	0,054
NBP[2]402*	0,054	NBP[5]409*	0,047
NBP[2]428*	0,049	NBP[5]436*	0,043

3. CONCLUSIONES

- El análisis estadístico de datos permitió comparar variables importantes del proceso de operación actual con los datos encontrados en el libro de proceso y ver las grandes variaciones que ha tenido la composición de materia prima dando como resultado una alteración en las condiciones de operación, debido a las especificaciones y capacidades para la cual los equipos fueron diseñados.
- La selección del modelo termodinámico no afectó el comportamiento de las torres de carga y fraccionamiento T-4751 y T-4753 y el proceso es representado favorablemente por el simulador, comprobando la revisión bibliográfica.
- Los factores primarios para simular los intercambiadores de calor de una forma adecuada son: ΔT casco a tubo, flujo de las corrientes fría y caliente, el área superficial y ΔP de casco y tubo.
- Igualmente se comprobó que el calentamiento del horno es mínimo, la simulación arrojó un ΔT de 2°F, produciendo un gasto de gas combustible innecesario.
- Se desarrolló una herramienta de simulación confiable para la unidad de hidrotratamiento de gasolina U-4750, construida con datos operacionales actuales, permitiendo ser punto de partida para un análisis energético el cual brindaría beneficios operacionales, ambientales y económicos.

4. RECOMENDACIONES

- Se recomienda monitorear constantemente las variaciones composicionales de la nafta de alimentación a la T-4751, ya que al realizar la caracterización arrojó composición de metano, etano, propano y butano, que no debía tener.
- Se recomienda tener los datasheets con la información completa ya que algunos no se encontraron con suficientes datos.
- Es importante verificar que sucede con los medidores TI 47563, TI 47652, FIC 47535 y PI 47530, ya que no registran datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2006). Resolución 1180. Bogotá.
- [2] AXENS NORTH AMERICA ,Inc. (2004). Libro de proceso de diseño de la U-4750 unidad de hidrotatamiento Prime G+. Barracabermeja
- [3] FLÓREZ, F. B. (2014). Destilación de carga y producto de la U-4750. BARRANCABERMEJA.
- [4] MONTGOMERY, D. &. (1996). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. México D.F: Mc Graw-Hill.
- [5] API, I. A. (1992). API Technical Data Book. Chapter 7. Thermal Properties.
- [6] MALDONADO, D. A. (2010). Modelación del proceso de separación de gas-crudo en la industria petrolera (Tesis pregado). Santo Domingo Tehuantepec: Universidad del Istmo.
- [7] ASPEN TECH. Aspen HYSYS petroleum refining. Guía de operaciones.
- [8] IMP, I. M. (2008). Simulación de Procesos de Producción de Hidrocarburos.
- [9] COLBURN, A. P.; SCHOENBORN, E. M.; SHILLING, David. Equilibrium still for partially miscible liquids. Industrial & Engineering Chemistry, 1943, vol. 35, no 12, p. 1250-1254.

[10] MOGHADAM, Navid; SAMADI, Masoud. Gas Condensate Stabilization Unit: Different Design Approaches. International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2012, vol. 3, no 6, p. 461.

[11] TARIFA, E. E. (2008). Determinación de la curva de destilación flash para cortes de petróleo utilizando simuladores comerciales.

[12] AXENS NORTH AMERICA ,Inc. (2004).Instrucciones de operación de la U-4750 unidad de hidrotretamiento de gasolina Pirme G+. Vol II. Barrancabermeja

[13] WAUQUIER., J. P. (2004). El refino del petróleo. Madrid: Ediciones Diaz de Santos

BIBLIOGRAFÍA

API, I. A. API Technical Data Book. Chapter 7. Thermal Properties. 1992

ASPEN TECH. Aspen HYSYS petroleum refining. Guía de operaciones.

AXENS NORTH AMERICA ,Inc. Instrucciones de operación de la U-4750 unidad de hidrotratamiento de gasolina Pirme G+. Vol II. Barrancabermeja 2004

AXENS NORTH AMERICA ,Inc. Libro de proceso de diseño de la U-4750 unidad de hidrotratamiento Prime G+. Barrancabermeja 2004

COLBURN, A. P.; SCHOENBORN, E. M.; SHILLING, David. Equilibrium still for partially miscible liquids. Industrial & Engineering Chemistry, 1943, vol. 35, no 12, p. 1250-1254.

FLÓREZ, F. B. Destilación de carga y producto de la U-4750. BARRANCABERMEJA. 2014

IMP, I. M. Simulación de Procesos de Producción de Hidrocarburos. 2008

MALDONADO, D. A. Modelación del proceso de separación de gas-crudo en la industria petrolera (Tesis pregrado). Santo Domingo Tehuantepec: Universidad del Istmo. 2010

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (). Resolución 1180. Bogotá. 2006

MOGHADAM, Navid; SAMADI, Masoud. Gas Condensate Stabilization Unit: Different Design Approaches. International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2012, vol. 3, no 6, p. 461.

MONTGOMERY, D. &. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. México D.F: Mc Graw-Hill. 1996

TARIFA, E. E. Determinación de la curva de destilación flash para cortes de petróleo utilizando simuladores comerciales. 2008

WAUQUIER., J. P. El refino del petróleo. Madrid: Ediciones Diaz de Santos 2004

ANEXOS

Anexo A. Diagramas por secciones con la ubicación de los medidores seleccionados e identificación de corrientes.

Ilustración 1. Diagrama de la sección de carga y fraccionamiento.

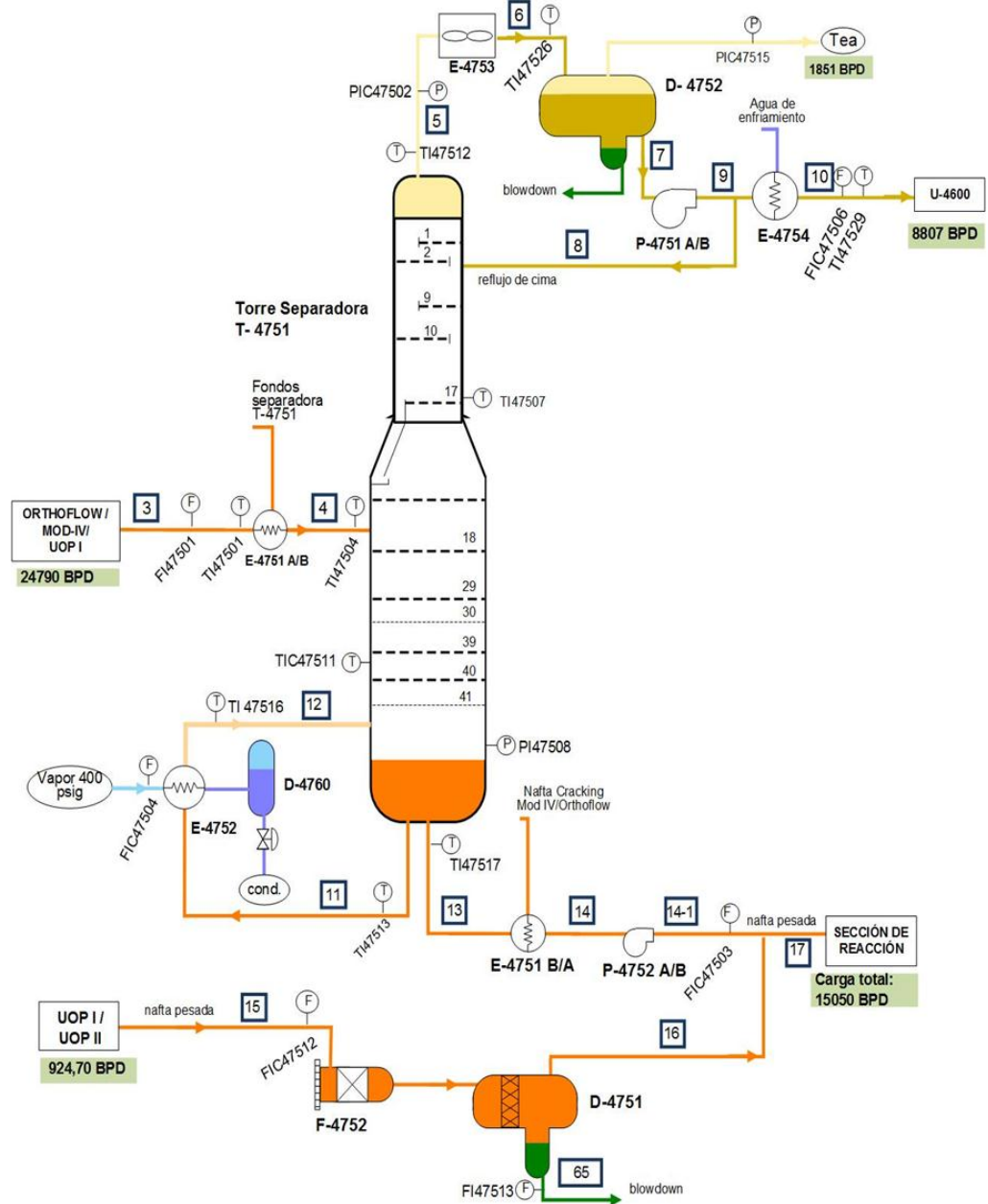


Ilustración 2. Diagrama de la sección de reacción

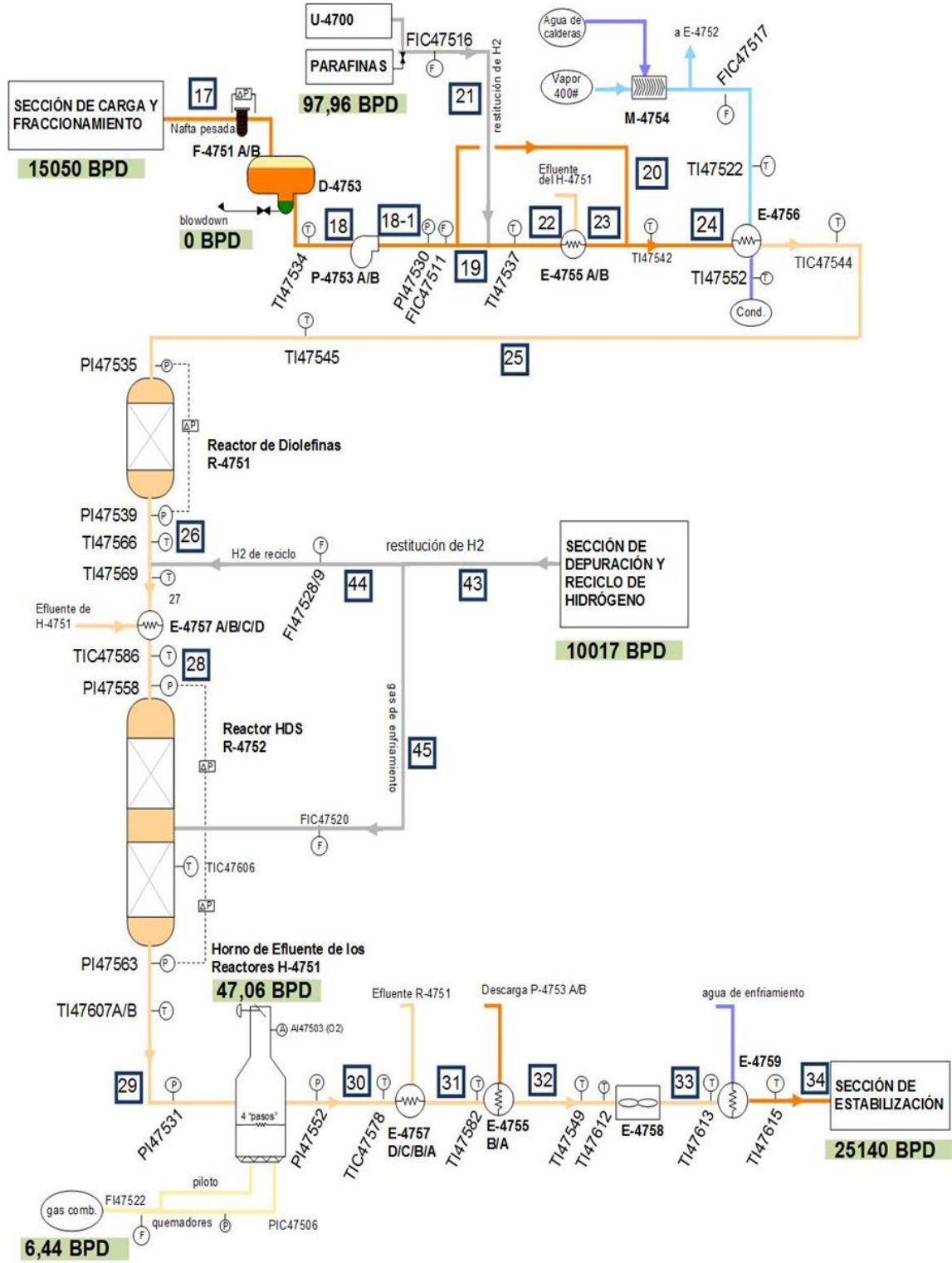


Ilustración 3. Diagrama de la sección de estabilización.

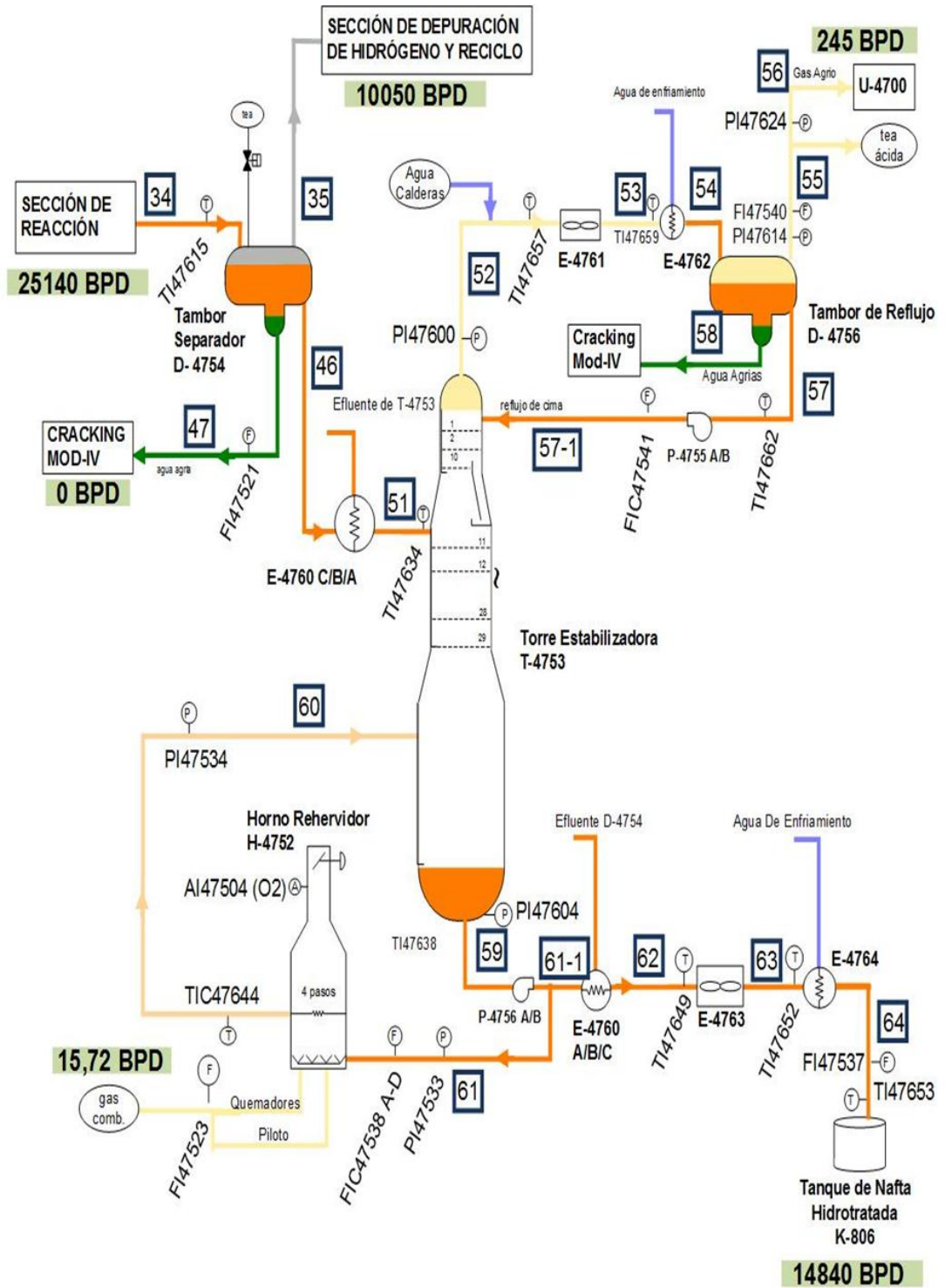


Ilustración 4. Diagrama de la sección de depuración de hidrógeno y reciclo.

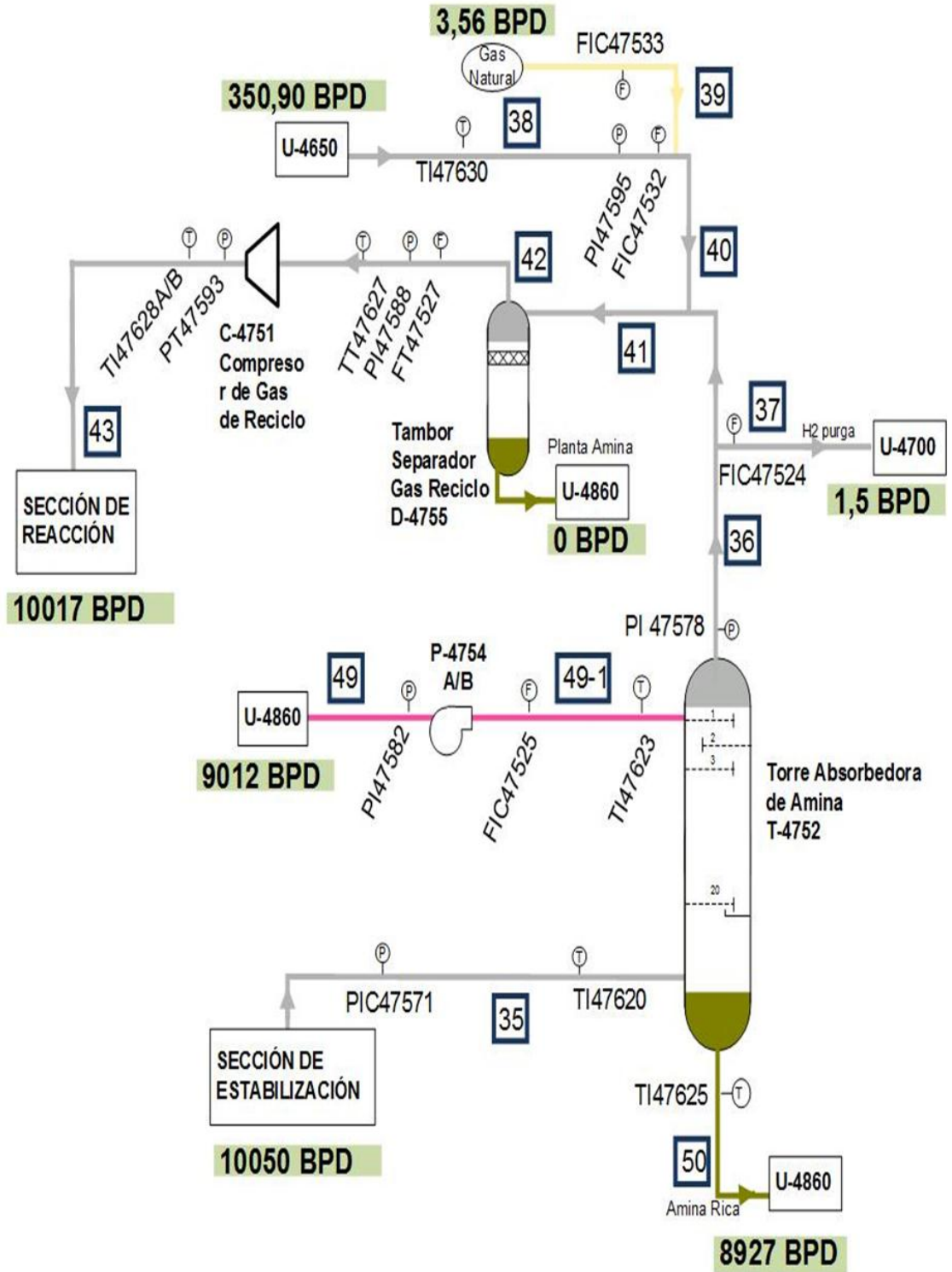


Ilustración 5. Diagrama de simulación de la sección de estabilización.

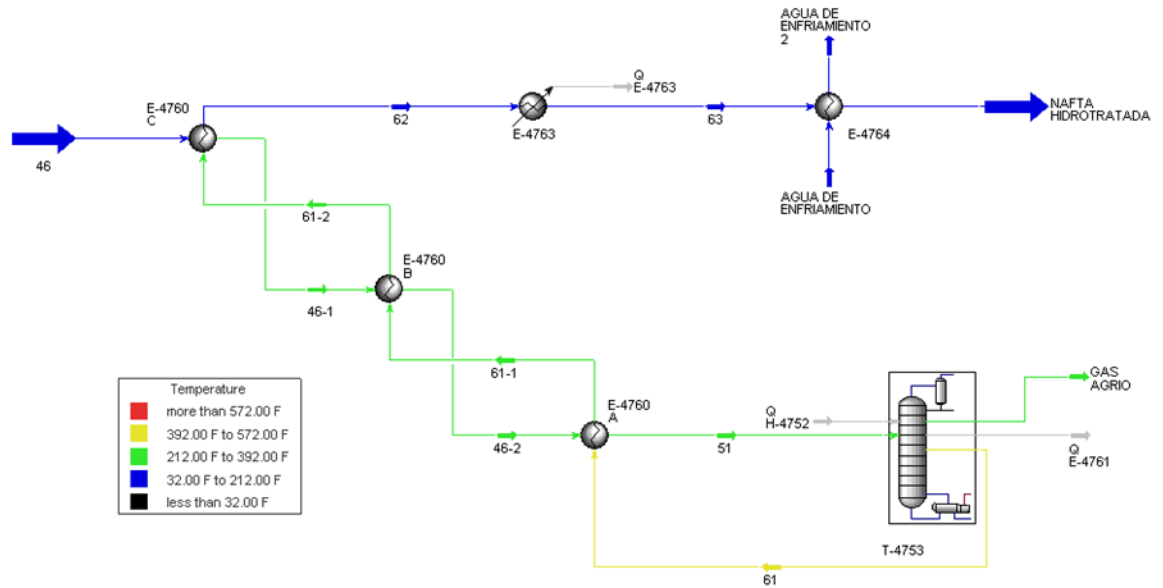
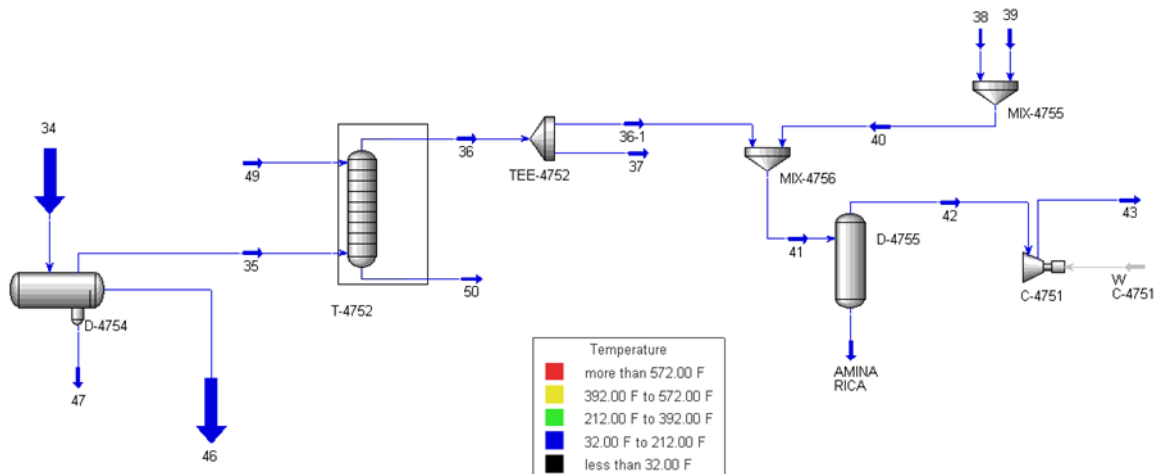


Ilustración 6. Diagrama de simulación de la sección de depuración de hidrógeno y reciclo



Anexo B. Identificación de equipos con código, nombre y sección.

Tabla 1. Lista de identificación de tambores (*Drums*).

CÓDIGO	NOMBRE	SECCIÓN
D-4751	Coalescedor de alimentación (<i>Feed Coalescer</i>)	Carga y fraccionamiento
D-4752	Tambor de reflujo de la torre separadora T-4751 (<i>Splitter Reflux Drum</i>)	Carga y fraccionamiento
D-4753	Tambor de carga (<i>Feed Surge Drum</i>)	Reacción
D-4754	Tambor separador (<i>Separator Drum</i>)	Depuración de hidrógeno
D-4755	Tambor separador gas reciclo (<i>Recycle Gas Compressor Drum</i>)	Depuración de hidrógeno
D-4756	Tambor de reflujo de la torre estabilizadora (<i>Stabilizer Reflux Drum</i>)	Estabilización

Tabla 2. Lista de identificación de columnas (*Columns*).

CÓDIGO	NOMBRE	SECCIÓN
T-4751	Torre separadora (<i>Splitter</i>)	Carga y fraccionamiento
T-4752	Torre absorbadora de amina (<i>HP Amine Absorber</i>)	Depuración de hidrógeno
T-4753	Torre estabilizadora (<i>Stabilizer</i>)	Estabilización

Tabla 3. Lista de identificación de reactores (*Reactors*).

CÓDIGO	NOMBRE	SECCIÓN
R-4751	Reactor de diolefinas (<i>Diolefin Reactor</i>)	Reacción
R-4752	Reactor de hidrodesulfuración (<i>HDS Reactor</i>)	Reacción

Tabla 4. Lista de identificación de intercambiadores de calor (*Heat Exchanger*).

CÓDIGO	NOMBRE	SECCIÓN
E-4751 A/B	<i>Splitter Feed / Bottoms Exchanger</i>	Carga y fraccionamiento
E-4752	<i>Splitter Reboiler</i>	Carga y fraccionamiento
E-4754	<i>LCN Product Cooler</i>	Carga y fraccionamiento
E-4755 A/B	<i>Diolefin Reactor Feed / HDS Effluent Exchangers</i>	Reacción
E-4756	<i>Diolefin Reactor Feed Heater</i>	Reacción
E-4757 A/B/C/D	<i>HDS Reactor Feed / Effluent Exchangers</i>	Reacción
E-4759	<i>Reactor Effluent Trim Cooler</i>	Reacción
E-4760 A/B/C	<i>Stabilizer Feed / Bottoms Exchangers</i>	Estabilización
E-4762	<i>Stabilizer Overhead Trim Condenser</i>	Estabilización
E-4764	<i>Gasoline Product Trim Cooler</i>	Estabilización

Tabla 5. Lista de identificación de enfriadores (*Air Coolers*).

CÓDIGO	NOMBRE	SECCIÓN
E-4753	<i>Splitter Overhead Air Condenser</i>	Carga y fraccionamiento
E-4758	<i>Reactor Effluent Air Condenser</i>	Reacción
E-4761	<i>Stabilizer Overhead Air Condenser</i>	Estabilización
E-4763	<i>Gasoline Product Air Cooler</i>	Estabilización

Tabla 6. Lista de identificación de Hornos (*Heaters*).

CÓDIGO	NOMBRE	SECCIÓN
H-4751	HDS Reactor Effluent Heater	Reacción
H-4752	Stabilizer Reboiler	Estabilización

Tabla 7. Lista de identificación de bombas (*Pumps*).

CÓDIGO	NOMBRE	SECCIÓN
P-4751 A/B	<i>Splitter Reflux Pumps</i>	Carga y fraccionamiento
P-4752 A/B	<i>Splitter Bottoms Pumps</i>	Carga y fraccionamiento
P-4753 A/B	<i>HCN Feed Pumps</i>	Reacción
P-4754 A/B	<i>Lean Amine Booster Pumps</i>	Depuración de hidrógeno
P-4755 A/B	<i>Stabilizer Reflux Pumps</i>	Estabilización
P-4756 A/B	<i>Stabilizer Bottoms Pumps</i>	Estabilización

Tabla 8. Lista de identificación de Compresores (*Compressor*).

CÓDIGO	NOMBRE	SECCIÓN
C-4751	<i>Recycle Gas Compressor</i>	Depuración de hidrógeno

Anexo A. Datos suministrados por Ecopetrol S.A.

Tabla 1. Curva de destilación ASTM D86 de la nafta pesada proveniente de UOP I y UOP II.

PROPIEDAD	MEDIDA	UNIDADES
AZUFRE	0.30	g/100g
AZUFRE EN PPM	3338.99	mg/kg
PTO INICIAL DE EBULLICIÓN	253.50	°F
5% vol. RECOBRADO	299.00	°F
10% vol. RECOBRADO	335.70	°F
50% vol. RECOBRADO	414.40	°F
90% vol. RECOBRADO	439.80	°F
95% vol. RECOBRADO	446.00	°F
PTO FINAL DE EBULLICIÓN	456.10	°F
GRAVEDAD API	29.10	Grados API
DENSIDAD A 60° F	880.80	kg/m3

Tabla 2. Curva de destilación ASTM D86 de la nafta hidrotratada de la T-4753 hacia el tanque de almacenamiento K-806.

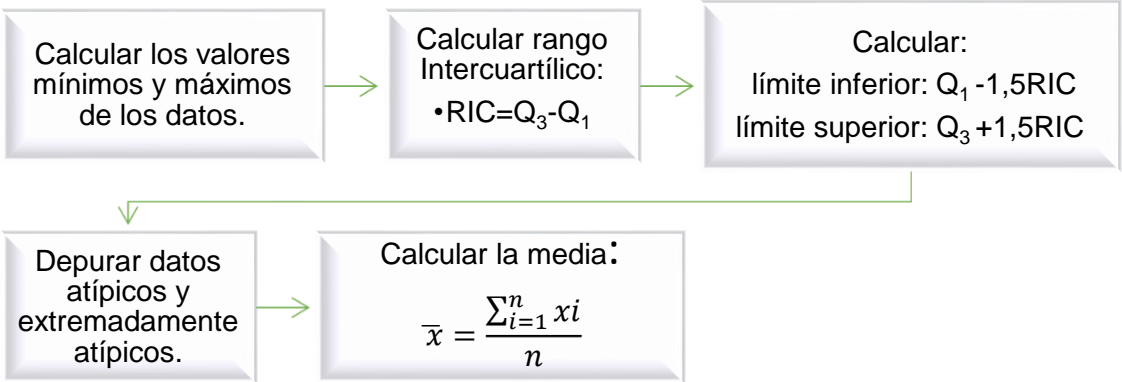
CORROSIÓN LAMINA COBRE	1A	CLASIFICACION
GRAVEDAD API	45.1	Grados API
DENSIDAD A 60° F	801.00	kg/m3
PTO INICIAL DE EBULLICIÓN	203.4	°F
PTO INICIAL DE EBULLICIÓN	95.2	°C
5% vol. RECOBRADO	227.8	°F
5% vol. RECOBRADO	108.8	°C
10% vol. RECOBRADO	240.6	°F
10% vol. RECOBRADO	115.9	°C
50% vol. RECOBRADO	291.0	°F
50% vol. RECOBRADO	143.9	°C
90% vol. RECOBRADO	393.6	°F
90% vol. RECOBRADO	200.9	°C
95% vol. RECOBRADO	412.9	°F

CORROSIÓN LAMINA COBRE	1A	CLASIFICACION
95% vol. RECOBRADO	211.6	°C
PTO FINAL DE EBULLICION	435.6	°F
PTO FINAL DE EBULLICION	224.2	°C
AZUFRE	0	g/100g
AZUFRE EN PPM	87.3	mg/kg

Anexo B. Medidores seleccionados de flujo volumétrico (bbl/día), presión (psig) y temperatura (°F).

FLUJO		PRESIÓN		TEMPERATURA	
Sección de Carga y Fraccionamiento					
FI 47501	FIC 47512	PIC 47502		TI 47501	TI 47516
FIC 47503	FIC 47513	PIC 47506		TI 47504	TI 47513
FIC 47504	FIC 47507	PIC 47515		TIC 47511	TI 47512
FIC 47506		PI 47505		TI 47517	TI 47526
				TI 47529	
Sección de Reacción					
FIC 47511		PI47530	PI 47558	TIC 47544	TI 47612
FIC 47516		PI 47535	PI 47561	TIC 47566	TI 47613
FIC 47517		PI 47539	PI 47563	TIC 47586	TI 47615
FIC 47520		PI 47552		TIC 47606	TIC 47545
FI 47522				TI 47607B	TIC 47578
FI 47528				TI 47542	TIC 47587
				TI 47534	TI 47582
				TI 47522	TI 47569
Sección de Estabilización					
FIC 47535		PI 47533	PI 47534	TI 47634	TI 47662
FIC 47541		PI 47600	PI 47604	TI 47638	TI 47652
FI 47540		PI 47614	PIC 47516	TI 47649	TI 47653
FI 47523		PI 47533		TI 47657	TIC 47644
Sección de Depuración de Hidrógeno Y Reciclo					
FT 47527		PI 47582	PI 4755	TI 47620	TI 47627
FIC 47532		PI 47578	PIC 47571	TI 47625	TI 47630
FIC 47533		PI 47588	PT 47593	TI 47628	

Anexo C. Procedimiento para calcular los datos atípicos y extremadamente atípicos.



Anexo D. Análisis de datos de la sección de carga y fraccionamiento.

Tabla 1. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de flujo de la sección de carga y fraccionamiento.

	FI47501	FIC47503	FIC47504	FIC47506	FIC47507	FIC47512	FIC47513
Min	2,85	23,74	14533,90	8,09	1160,78	-108,48	0,27
Cuartil 1 (Q1)	23501,67	13453,89	46102,24	10267,36	5032,08	705,69	0,29
Mediana (Q2)	24912,95	14567,21	48773,98	11175,07	5260,96	1030,43	0,29
Cuartil 3 (Q3)	25773,98	15015,47	50543,78	11708,96	5543,20	1223,24	0,30
Max	27469,54	16311,73	59400,49	14389,13	6349,29	2230,89	0,40
Rango intercuartílico (RI)	2272,31	1561,58	4441,54	1441,61	511,12	517,54	0,01
Límite inferior (Li)	20093,20	11111,51	39439,92	8104,94	4265,40	-70,62	0,27
Límite superior (Ls)	29182,45	17357,85	57206,10	13871,38	6309,88	1999,55	0,31
PROMEDIO (x)	24787,67	14404,59	48457,39	11060,90	5338,99	924,67	0,29

Tabla 2. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de flujo de la sección de carga y fraccionamiento.

	FI47501	FIC47503	FIC47504	FIC47506	FIC47507	FIC47512	FIC47513
Desviación estándar (s)	1490,98	1045,00	3190,50	1078,26	414,86	440,22	0,01
Muestra (n)	513,00	513,00	513,00	513,00	513,00	513,00	513,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	65,83	46,14	140,86	47,61	18,32	19,44	0,00
LIC	24724,46	14360,29	48322,14	11015,19	5321,40	906,01	0,29
LSC	24850,87	14448,89	48592,64	11106,61	5356,57	943,34	0,29

Tabla 3. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de presión de la sección de carga y fraccionamiento.

	PIC47502	PIC47508	PIC47515	PIC47505
Min	15,79	18,04	10,89	16,27
Cuartil 1 (Q1)	20,22	25,88	14,91	21,03
Mediana (Q2)	20,66	26,46	15,82	21,47
Cuartil 3 (Q3)	21,71	27,34	16,69	22,32
Max	24,82	30,66	20,60	25,29
Rango intercuartílico (RI)	1,49	1,47	1,78	1,28
Límite inferior (Li)	17,99	23,68	12,24	19,11
Límite superior (Ls)	23,93	29,54	19,37	24,24
PROMEDIO (x)	20,99	26,62	15,78	21,68

Tabla 4. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de presión de la sección de carga y fraccionamiento.

	PIC47502	PIC47508	PIC47515	PIC47505
Desviación estándar (s)	0,95	1,07	1,26	0,80
Muestra (n)	546,00	546,00	546,00	546,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	0,04	0,05	0,05	0,03
LIC	20,95	26,58	15,72	21,65
LSC	21,03	26,66	15,83	21,72

Tabla 15. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de temperatura de la sección de carga y fraccionamiento.

	TI47501	TI47504	TIC47511	TI47517	TI47529	TI47516	TI47513	TI47512	TI47526
Min	89,24	200,88	255,68	259,23	88,43	294,50	284,61	165,71	94,26
Cuartil 1 (Q1)	97,65	204,77	281,78	323,33	95,14	323,23	318,78	172,99	123,28
Mediana (Q2)	99,51	206,06	283,39	325,84	96,57	325,58	321,23	175,61	126,92
Cuartil 3 (Q3)	101,18	207,67	288,31	329,58	98,27	329,48	325,37	178,32	129,74
Max	104,77	229,78	320,41	356,69	103,42	375,23	362,38	194,62	146,06
Rango									
intercuartílico (RI)	3,53	2,90	6,52	6,26	3,13	6,25	6,59	5,33	6,46
Límite inferior (Li)	92,35	200,42	272,00	313,94	90,44	313,86	308,90	165,00	113,59
Límite superior (Ls)	106,49	212,03	298,09	338,97	102,96	338,85	335,25	186,32	139,43
PROMEDIO (x)	99,42	206,12	285,16	326,32	96,63	326,40	322,17	175,47	126,44

Tabla 6. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de presión de la sección de carga y fraccionamiento.

	TI47501	TI47504	TIC47511	TI47517	TI47529	TI47516	TI47513	TI47512	TI47526
Desviación estándar (s)	2,46	2,11	4,60	4,39	2,30	4,11	4,17	4,19	5,15
Muestra (n)	526,00	526,00	526,00	526,00	526,00	526,00	526,00	526,00	526,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	0,11	0,09	0,20	0,19	0,10	0,18	0,18	0,18	0,22
LIC	99,32	206,03	284,97	326,14	96,53	326,23	321,99	175,29	126,23
LSC	99,53	206,21	285,35	326,50	96,72	326,57	322,34	175,64	126,66

Anexo E. Análisis de datos sección de reacción.

Tabla 1. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de flujo de la sección reacción.

	FIC47511	FIC47516	FIC47517	FIC47520	FI47522	FI47528
Min	75,32	0,00	5,28	0,00	2,72	6,16
Cuartil 1 (Q1)	14566,34	0,53	2012,26	5,30	4,92	44,96
Mediana (Q2)	15413,64	0,55	4848,47	8,16	5,54	46,34
Cuartil 3 (Q3)	16055,74	0,57	5732,42	11,69	7,76	49,45
Max	17605,50	0,67	7137,17	17,36	11,08	62,73
Rango intercuartílico (RI)	1489,41	0,04	3720,16	6,39	2,84	4,49
Límite inferior (Li)	12332,23	0,46	-3567,97	-4,29	0,65	38,22
Límite superior (Ls)	18289,85	0,63	11312,66	21,28	12,03	56,18
PROMEDIO (x)	15328,62	0,55	4054,25	8,79	6,44	47,45

Tabla 2. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de flujo de la sección reacción.

	FIC47511	FIC47516	FIC47517	FIC47520	FI47522	FI47528
Desviación estándar (s)	977,43	0,03	2035,25	3,92	1,95	4,45
Muestra (n)	546,00	546,00	546,00	546,00	546,00	546,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	41,83	0,00	87,10	0,17	0,08	0,19
LIC	15288,46	0,55	3970,62	8,63	6,36	47,26
LSC	15368,78	0,55	4137,88	8,95	6,52	47,63

Tabla 3. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de presión de la sección reacción.

	PI47535	PI47539	PI47558	PI47563	PI47561	PI47552	PI47506
Min	-0,58	-0,37	186,70	185,27	186,15	155,29	1,62
Cuartil 1 (Q1)	334,29	340,61	255,42	242,14	252,57	236,42	2,37
Mediana (Q2)	349,42	344,25	257,72	243,96	254,25	237,52	3,36
Cuartil 3 (Q3)	381,94	345,60	259,52	245,47	256,24	238,57	6,39
Max	424,01	345,72	264,66	251,65	261,92	247,44	20,66
Rango intercuartílico (RI)	47,65	4,99	4,11	3,33	3,68	2,15	4,02
Límite inferior (Li)	262,81	333,12	249,26	237,15	247,05	233,20	-3,65
Límite superior (Ls)	453,42	353,10	265,68	250,47	261,76	241,79	12,41
PROMEDIO (x)	361,46	343,45	257,61	243,89	254,48	237,52	4,35

Tabla 4. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de flujo de la sección reacción.

	PI47535	PI47539	PI47558	PI47563	PI47561	PI47552	PI47506
Desviación estándar (s)	30,04	2,14	2,56	2,03	2,42	1,48	2,43
Muestra (n)	542,00	542,00	542,00	542,00	542,00	542,00	542,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	1,29	0,09	0,11	0,09	0,10	0,06	0,10
LIC	360,23	343,36	257,50	243,80	254,38	237,46	4,25
LSC	362,70	343,54	257,71	243,97	254,58	237,58	4,45

Tabla 5. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de temperatura de la sección reacción.

	TIC47544	TIC47566	TIC47586	TIC47606	TI47607B	TI47542	TI47534	TI47522
Min	123,99	85,56	390,60	306,92	182,22	122,02	103,39	446,79
Cuartil 1 (Q1)	296,93	309,33	539,37	537,30	593,51	284,21	139,84	450,16
Mediana (Q2)	345,02	358,23	552,00	546,41	606,26	302,87	142,55	451,28
Cuartil 3 (Q3)	348,06	362,66	575,99	557,23	617,89	307,91	144,48	453,28
Max	359,23	373,65	588,53	571,15	650,72	319,35	164,21	485,03
Rango intercuartílico (RI)	51,14	53,34	36,62	19,93	24,39	23,70	4,65	3,12
Límite inferior (Li)	220,22	229,32	484,44	507,40	556,93	248,67	132,86	445,48
Límite superior (Ls)	424,77	442,67	630,92	587,13	654,47	343,45	151,46	457,96
PROMEDIO (x)	328,01	341,98	558,64	548,49	607,38	297,13	142,15	451,53

Tabla 6. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de temperatura de la sección reacción.

	TI47612	TI47613	TIC47545	TIC47578	TI47582	TI47569	TIC47587	TI47537
Min	195,85	88,69	126,00	428,24	244,39	195,88	392,94	110,27
Cuartil 1 (Q1)	244,16	113,16	296,46	609,70	305,01	238,59	539,37	141,82
Mediana (Q2)	248,01	115,23	344,87	622,26	316,78	262,40	552,00	144,61
Cuartil 3 (Q3)	251,45	117,12	347,69	648,37	322,10	266,71	575,99	146,40
Max	260,98	133,19	359,06	663,48	334,72	277,06	588,53	166,98
Rango intercuartílico (RI)	7,29	3,96	51,23	38,67	17,09	28,12	36,62	4,58
Límite inferior (Li)	233,23	107,22	219,61	551,69	279,37	196,41	484,44	134,95

	TI47612	TI47613	TIC47545	TIC47578	TI47582	TI47569	TIC47587	TI47537
Límite superior (Ls)	262,38	123,07	424,53	706,37	347,74	308,89	630,92	153,27
PROMEDIO (x)	248,02	115,06	327,67	628,11	313,36	253,55	556,72	144,30

Tabla 7. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de temperatura de la sección reacción.

	TIC47544	TIC47566	TIC47586	TIC47606	TI47607B	TI47542	TI47534	TI47522
Desviación estándar (s)	25,78	26,25	18,67	11,01	15,89	14,71	3,38	2,37
Muestra (n)	523,00	523,00	523,00	523,00	523,00	523,00	523,00	523,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	1,13	1,15	0,82	0,48	0,69	0,64	0,15	0,10
LIC	326,93	340,87	557,85	548,03	606,72	296,51	142,01	451,43
LSC	329,10	343,08	559,42	548,95	608,05	297,74	142,29	451,63

Tabla 8. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de temperatura de la sección reacción.

	TI47612	TI47613	TIC47545	TIC47578	TI47582	TI47569	TIC47587	TI47537
Desviación estándar (s)	5,58	2,89	25,91	21,22	11,22	15,27	19,67	3,22
Muestra (n)	523,00	523,00	523,00	523,00	523,00	523,00	523,00	523,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	0,24	0,13	1,13	0,93	0,49	0,67	0,86	0,14
LIC	247,79	114,94	326,58	627,22	312,89	252,91	555,89	144,16
LSC	248,26	115,18	328,76	629,00	313,83	254,19	557,54	144,43

Anexo F. Análisis de datos sección de estabilización.

Tabla 1. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de flujo de la sección estabilización.

	FIC47541	FIC47523	FI47540	FIC47024
Min	1917,01	9,43	173,56	100,25
Cuartil 1 (Q1)	2814,37	15,30	681,58	685,54
Mediana (Q2)	2898,22	15,72	725,61	777,10
Cuartil 3 (Q3)	2967,80	16,10	775,79	897,82
Max	3583,39	17,16	921,32	1501,39
Rango intercuartílico (RI)	153,43	0,81	94,21	212,28
Límite inferior (Li)	2584,23	14,09	540,27	367,11
Límite superior (Ls)	3197,94	17,31	917,10	1216,24
PROMEDIO (x)	2898,60	15,72	730,44	806,13

Tabla 2. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de flujo de la sección estabilización.

	FIC47541	FIC47523	FI47540	FIC47024
Desviación estándar (s)	119,78	0,59	70,64	157,87
Muestra (n)	519,00	519,00	519,00	519,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	5,26	0,03	3,10	6,93
LIC	2893,55	15,70	727,46	799,48
LSC	2903,65	15,75	733,42	812,79

Tabla 3. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de presión de la sección estabilización.

	PI47533	PI47614	PIC47600	PI47534	PI47604	PIC47516
Min	212,44	87,62	89,58	92,81	92,85	3,19
Cuartil 1 (Q1)	215,08	90,82	93,51	96,80	96,82	5,16
Mediana (Q2)	215,97	91,58	93,52	96,90	96,93	6,44
Cuartil 3 (Q3)	216,36	91,94	93,56	96,97	97,00	7,91
Max	219,05	94,20	96,49	100,38	100,41	11,48
Rango intercuartílico (RI)	1,29	1,12	0,05	0,17	0,18	2,75
Límite inferior (Li)	213,14	89,15	93,43	96,55	96,56	1,04
Límite superior (Ls)	218,30	93,62	93,63	97,22	97,26	12,04
PROMEDIO (x)	215,58	91,57	93,54	96,93	96,96	6,64

Tabla 4. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de presión de la sección estabilización.

	PI47533	PI47614	PIC47600	PI47534	PI47604	PIC47516
Desviación estándar (s)	1,03	0,72	0,03	0,08	0,09	1,67
Muestra (n)	411,00	411,00	411,00	411,00	411,00	411,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,08
LIC	215,53	91,54	93,54	96,93	96,96	6,56
LSC	215,63	91,61	93,54	96,93	96,97	6,72

Tabla 5. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de temperatura de la sección estabilización

	TI47634	TI47638	TIC47644	TI47649	TI47657	TI47662
Min	266,71	363,76	371,43	140,08	177,35	89,04
Cuartil 1 (Q1)	367,89	427,24	441,64	162,57	195,44	95,73
Mediana (Q2)	370,60	430,44	445,64	164,32	198,00	97,49
Cuartil 3 (Q3)	373,75	434,09	449,15	165,66	199,95	98,85
Max	397,04	461,60	475,52	191,06	230,68	108,67
Rango intercuartílico (RI)	5,87	6,85	7,51	3,09	4,51	3,11
Límite inferior (Li)	359,08	416,96	430,38	157,94	188,69	91,07
Límite superior (Ls)	382,56	444,37	460,41	170,29	206,71	103,52
PROMEDIO (x)	371,16	431,02	445,57	164,10	197,61	97,34

Tabla 6. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de temperatura de la sección estabilización.

	TI47634	TI47638	TIC47644	TI47649	TI47657	TI47662
Desviación estándar (s)	4,19	4,90	5,33	2,33	3,07	2,24
Muestra (n)	524,00	524,00	524,00	524,00	524,00	524,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	0,18	0,21	0,23	0,10	0,13	0,10
LIC	370,99	430,82	445,35	164,00	197,49	97,25
LSC	371,34	431,23	445,80	164,19	197,74	97,44

Anexo G. Análisis de datos sección de depuración de hidrógeno y reciclo.

Tabla 1. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de flujo de la sección depuración de hidrógeno y reciclo.

	FT47527	FIC47532	FIC47533
Min	3972,01	0,55	0,00
Cuartil 1 (Q1)	25954,05	1,75	0,01
Mediana (Q2)	26363,89	1,98	0,01
Cuartil 3 (Q3)	26887,32	2,20	0,04
Max	27535,71	2,81	0,05
Rango intercuartílico (RI)	933,27	0,45	0,04
Límite inferior (Li)	24554,14	1,08	-0,05
Límite superior (Ls)	28287,23	2,87	0,10
PROMEDIO (x)	26395,72	1,97	0,02

Tabla 2. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de flujo de la sección de depuración de hidrógeno y reciclo.

	FT47527	FIC47532	FIC47533
Desviación estándar (s)	613,58	0,32	0,02
Muestra (n)	538,00	538,00	538,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96
EEM	26,45	0,01	0,00
LIC	26370,32	1,96	0,02
LSC	26421,12	1,98	0,02

Tabla 3. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de presión de la sección depuración de hidrógeno y reciclo.

	PIC47571	PI47582	PI47578	PIC47543	PI47588	PI47595
Min	148,76	113,89	146,21	192,76	107,20	317,67
Cuartil 1 (Q1)	204,97	165,02	202,17	335,03	181,99	322,69
Mediana (Q2)	205,01	169,75	202,29	340,00	183,03	323,27
Cuartil 3 (Q3)	205,04	172,41	202,40	340,02	184,07	323,84
Max	219,41	193,36	216,99	340,13	197,36	325,92
Rango intercuartílico (RI)	0,07	7,39	0,23	4,99	2,08	1,15
Límite inferior (Li)	204,88	153,95	201,82	327,54	178,88	320,96
Límite superior (Ls)	205,14	183,49	202,75	347,51	187,19	325,57
PROMEDIO (x)	205,00	169,84	202,26	337,91	183,28	323,24

Tabla 4. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de presión de la sección de depuración de hidrógeno y reciclo.

	PIC47571	PI47582	PI47578	PIC47543	PI47588	PI47595
Desviación estándar (s)	0,04	5,35	0,15	2,45	1,50	0,90
Muestra (n)	451,00	451,00	451,00	451,00	451,00	451,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	0,00	0,25	0,01	0,12	0,07	0,04
LIC	205,00	169,59	202,26	337,80	183,21	323,20
LSC	205,00	170,08	202,27	338,02	183,35	323,28

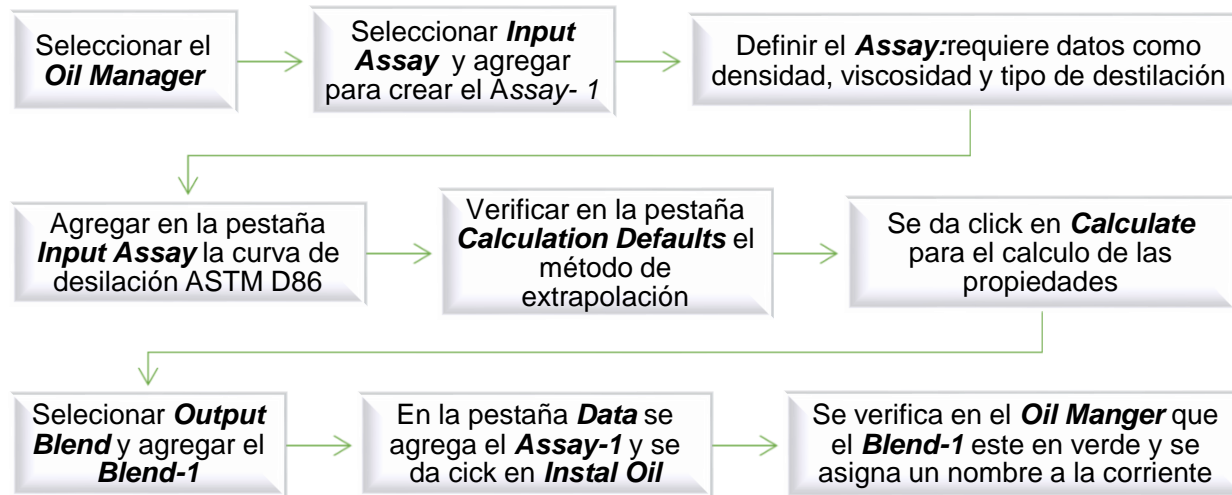
Tabla 5. Análisis de datos atípicos y extremadamente atípicos de los medidores de temperatura de la sección de purificación de hidrógeno y reciclo.

	TI47615	TI47628A	TI47628B	TI47627	TI47630	TI47620	TI47625
Min	87,59	178,22	178,28	89,56	82,98	88,22	88,17
Cuartil 1 (Q1)	92,96	196,06	196,04	105,58	89,93	93,74	95,25
Mediana (Q2)	94,17	199,31	199,30	106,91	91,61	94,99	96,59
Cuartil 3 (Q3)	95,15	201,35	201,35	108,01	93,10	95,96	97,60
Max	99,34	236,33	236,41	112,37	96,80	105,51	100,57
Rango intercuartílico (RI)	2,19	5,29	5,31	2,42	3,17	2,22	2,36
Límite inferior (Li)	89,68	188,13	188,08	101,95	85,18	90,40	91,71
Límite superior (Ls)	98,43	209,28	209,31	111,64	97,85	99,30	101,14
PROMEDIO (x)	94,06	198,71	198,72	106,80	91,49	94,83	96,45

Tabla 6. Cálculo de intervalo de confianza al 95% de los medidores de temperatura de la sección de purificación de hidrógeno y reciclo.

	TI47615	TI47628A	TI47628B	TI47627	TI47630	TI47620	TI47625
Desviación estándar (s)	1,52	3,85	3,87	1,75	2,25	1,55	1,68
Muestra (n)	544,00	544,00	544,00	544,00	544,00	544,00	544,00
Error alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
t	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
EEM	0,06	0,16	0,17	0,07	0,10	0,07	0,07
LIC	93,99	198,55	198,57	106,73	91,40	94,76	96,38
LSC	94,12	198,87	198,88	106,87	91,58	94,89	96,52

Anexo H. Procedimiento para la caracterización del crudo.



Anexo I. Cálculo de UA.

Intercambiador	CASCO		TUBO		MTD [°F]	LMTD [°F]	Q [Btu/h]	A [ft2]	UA [Btu/°F*h]
	T salida[°F]	T entrada [°F]	ts tubo [°F]	te tubo [°F]					
E-4751 A/B	182,00	326,32	206,12	99,42	87,70	100,216	10840000	1554	108166,46
E-4754	96,62				13,80		1260000	1509	91304,35
E-4755 A/B	248,02	313,36	297,13	144,29	60,10	47,172	2,64E+07	5772	559446,88
E-4756	439,40	451,53	328,00	297,13	79,30	132,679	2,70E+06	473,00	34047,92
E-4757 A/B/C/D	558,60	288,00	272,80	545,70	43,60	14,019	5,98E+07	23220,00	4262204,33
E-4760 A/B/C	371,16	94,06	431,02	164,00	69,20		3,23E+07	6882,00	466473,99

Anexo J. Tabla de composición del gas de proceso de salida de C-4751.

Componente	Composición fracción mol	
	SIMULADA	REAL
Hydrogen	0,903	0,902
H2O	0,004	0
Methane	0,076	0,086
Ethane	0,002	0
Propane	0,001	0
n-Butane	0,001	0
Nitrogen	0,010	0,011
i-Butane	0,001	0
NBP[2]197*	0,001	0
NBP[2]223*	0,001	0

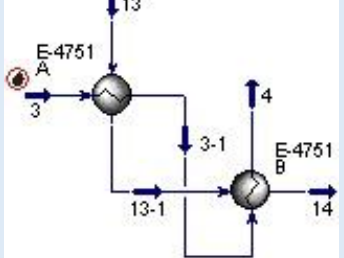
Anexo K. Variables críticas usadas para la validación de la herramienta de simulación.

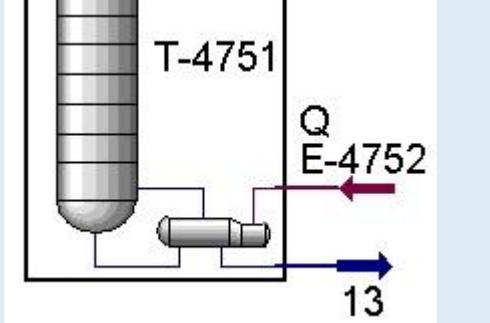
SECCION DE REACCIÓN	FIC47511	SECCIÓN DE CARGA Y FRACCIONAMIENTO	TI47512
	TI47537		PI47505
	TI47542		FIC47506
	TI47545		TI47529
	PI47535		TIC47511
	PI47539		FIC47503
	PIC47543		
	TI47569		
	PI47558		
	PI47563		
	TI47607 A/B		
	PI47552	PIC47571	
	TIC47578	TI47620	
	TI47582	TI47625	
	TI47612	PI47588	
		TT47627	
	TI47628		
	A/B		

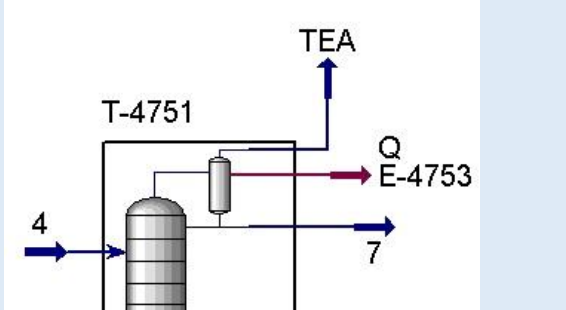
Anexo L. Composición de la corriente 16 simulada por Aspen HYSYS V8.6.

COMPUESTO	FRACCIÓN MOL
NBP[3]189*	0,036
NBP[3]216*	0,032
NBP[3]243*	0,028
NBP[3]270*	0,028
NBP[3]300*	0,070
NBP[3]323*	0,095
NBP[3]350*	0,092
NBP[3]376*	0,094
NBP[3]406*	0,096
NBP[3]431*	0,273
NBP[3]456*	0,157

Anexo M. Información de la simulación de los intercambiadores de calor.

EQUIPO: E-4751 A/B	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> • Temp. cte. 3 = 99,42 °F • Temp. cte. 4 = 206,12 °F • Temp. cte. 13 = 351,50 °F • Temp. cte. 14 = 164,60 °F • ΔP casco = 6 psi • ΔP tubo = 8 psi • Overall UA = 54083,22 Btu/°F*h 	<ul style="list-style-type: none"> • Histórico • Histórico • Simulado • Simulado • Data sheet • Data sheet • Calculado con Data sheet

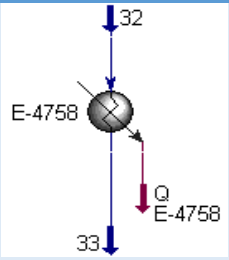
EQUIPO: E-4752	DATOS
	<p>Este equipo no se simulo individualmente, viene implícito en el rehervidor de la T-4751.</p>

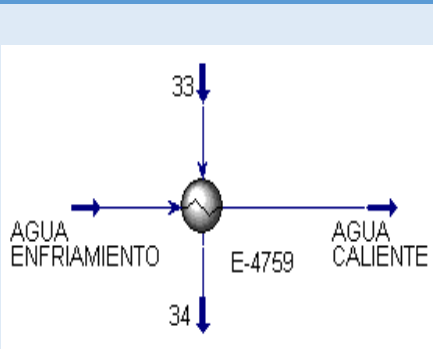
EQUIPO: E-4753	DATOS
	<p>Este equipo no se simulo individualmente, viene implícito en el condensador de la T-4751.</p>

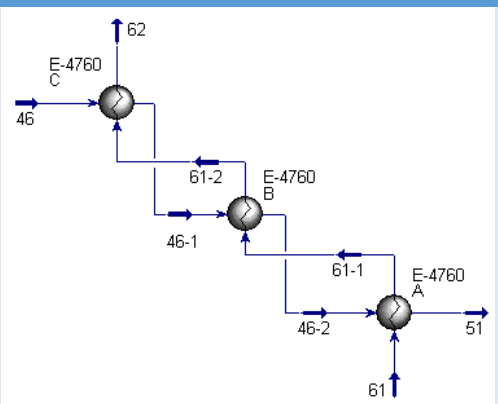
EQUIPO: E-4754	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> Temp. H2O ENFRIAMIENTO = 90 °F Temp. H2O = 87,42 °F Temp. cte. 9 = 80,03 °F Temp. cte. 10 = 87,52 °F ΔP casco = 5 psi ΔP tubo = 10 psi Overall UA = 91304,34 Btu/h*°F 	<ul style="list-style-type: none"> Histórico Simulado Simulado Simulado Data sheet Data sheet Calculado con Data sheet

EQUIPO: E-4755 A/B	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> Temp. cte. 22 = 147,60 °F Temp. cte. 23 = 229,00 °F Temp. cte. 31 = 284,60 °F Temp. cte. 32 = 244,60 °F ΔP casco = 9 psi ΔP tubo = 14 psi Overall UA = 559446,88 Btu/°F*h 	<ul style="list-style-type: none"> Simulado Simulado Simulado Simulado Data sheet Data sheet Calculado con Data sheet

EQUIPO: E-4756	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> Temp. cte. 24 = 225,20 °F Temp. cte. 25 = 288,60 °F Temp. H2O CALDERAS = 451,50 °F Temp. CONDENSADO = 439,40 °F ΔP casco = 0,50 psi ΔP tubo = 0,50 psi Overall UA = Btu/h*°F 	<ul style="list-style-type: none"> Simulado Simulado Data sheet Simulado Data sheet Data sheet Calculado con Data sheet

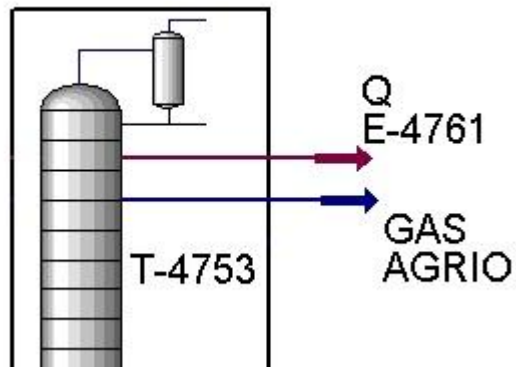
EQUIPO: E-4758	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> Temp. cte. 32 = 236,70 °F Temp. cte. 33 = 115,10 °F ΔP tubo = 7 psi Presión cte. 32 = 156 psig 	<ul style="list-style-type: none"> Simulado Histórico Data sheet Simulado

EQUIPO: E-4759	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> Temp. cte. 33 = 115,10 °F Temp. cte. 34 = 95,12 °F Temp. cte. AGUA ENFRIAMIENTO = 90 °F Temp. cte. AGUA CALIENTE = 99,36 °F ΔP casco = 3 psi ΔP tubo = 10 psi Overall UA = 559446,88 Btu/°F*h 	<ul style="list-style-type: none"> Histórico Simulado Histórico Simulado Data sheet Data sheet Calculado con Data sheet

EQUIPO: E-4760 A/B/C	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> Temp. cte. 46 = 95,12 °F Temp. cte. 62 = 164 °F Temp. cte. 61 = 455,30 °F Temp. cte. 51 = 379 °F ΔP casco = 16 psi ΔP tubo = 22 psi Overall UA = 466473,99 Btu/°F*h 	<ul style="list-style-type: none"> Simulado Histórico Simulado Histórico Data sheet Data sheet Calculado con Data sheet

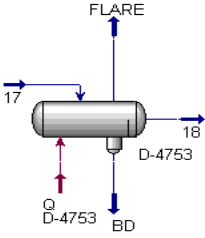
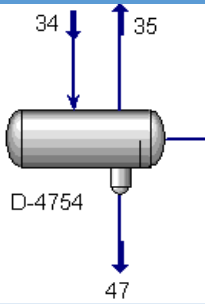
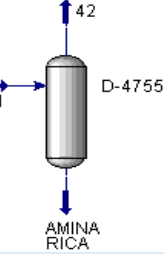
**EQUIPO: E-4761
E-4762**

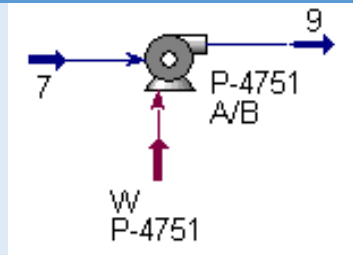
DATOS

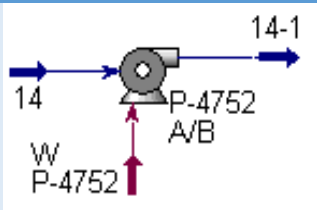


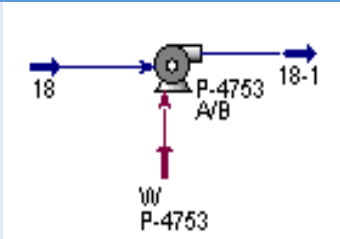
Estos equipos no se simularon individualmente, debido a que vienen implícitos en el condensador de la T-4753.

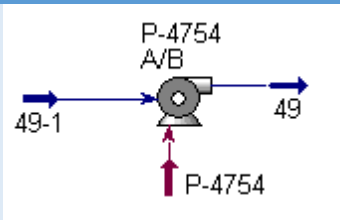
Anexo N. Información de la simulación de los *drums*, bombas y compresor.

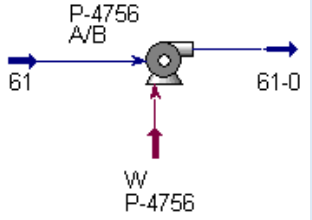
EQUIPO: D-4753	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> • Temp. cte. 18 = 142,15 °F • Presión FLARE = 60 psig • Flujo FLARE = 0 BPD • Flujo BD = 0 BPD 	<ul style="list-style-type: none"> • Histórico • Simulado • Simulado • Simulado
	<ul style="list-style-type: none"> • Temp. cte. 46 = 95,12 °F • Temp. cte. 34 = 95,12 °F • Flujo cte. 35 = 10050 BPD • Presión cte. 46 = 146 psig • Flujo cte. 46 = 15090 BPD • Flujo cte. 47 = 0 BPD 	<ul style="list-style-type: none"> • Simulado • Simulado • Simulado • Simulado • Simulado • Simulado
	<ul style="list-style-type: none"> • Temp. separador = 140,30 °F • Flujo cte. AMINA RICA = 0 BPD • Presión separador = 202 psig • Flujo cte. 42 = 10630 BPD 	<ul style="list-style-type: none"> • Simulado • Simulado • Simulado • Simulado

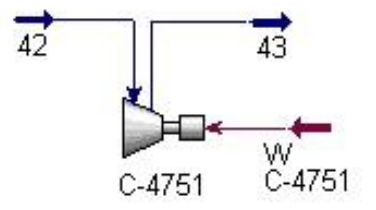
EQUIPO: P-4751 A/B	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> • $\Delta P = 154,00$ psi • Trabajo bomba = 78,30 HP • Temp. cte. 9 = 80,03 °F • Presión cte. 9 = 169,80 psig 	<ul style="list-style-type: none"> • Data sheet • Data sheet • Simulado • Simulado

EQUIPO: P-4752 A/B	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> • $\Delta P = 87,00$ psi • Trabajo bomba = 34,74 HP • Temp. cte. 14-1 = 165,20 °F • Presión cte. 14-1 = 101,60 psig 	<ul style="list-style-type: none"> • Data sheet • Data sheet • Simulado • Simulado

EQUIPO: P-4753 A/B	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> • $\Delta P = 350,00$ psi • Trabajo bomba = 268,00 HP • Temp. cte. 18-1 = 148,1 °F • Presión cte. 18-1 = 410,00 °F 	<ul style="list-style-type: none"> • Data sheet • Data sheet • Simulado • Simulado

EQUIPO: P-4754 A/B	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> • $\Delta P = 35,17$ psi • Trabajo bomba = 24,70 HP • Temp. cte. 49 = 115 °F • Presión cte. 49-1 = 169,8 psig 	<ul style="list-style-type: none"> • Data sheet • Data sheet • Histórico • Histórico

EQUIPO: P-4756 A/B	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> • $\Delta P = 109$ psi • Trabajo bomba = 215 HP • Temp. cte. 61 = 455,40 °F • Presión cte. 61 = 96,93 psig 	<ul style="list-style-type: none"> • Data sheet • Data sheet • Simulado • Simulado

EQUIPO: C-4751	DATOS	ORIGEN
	<ul style="list-style-type: none"> • Presión cte. 42 = 202 psi • Presión cte. 43 = 319 psi • Trabajo compresor = 1358,78 HP • Temp. cte. 42 = 121,90 °F • Temp. cte. 43 = 220,40 °F • Eficiencia adiabática = 75% • Eficiencia politropica = 76,42% • Modo operación = centrifuga 	<ul style="list-style-type: none"> • Simulado • Simulado • Simulado • Simulado • Data sheet • Simulado • Simulado • Simulado