



PROC. MA.

INGENIERÍA QUÍMICA

MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO

- Investigación Recital de Grado
 Pasantía de Investigación Diplomado
 Docencia Práctica Integral
 Práctica Empresarial

EL JURADO CALIFICADOR CONFORMADO POR: (Nombres, apellidos y documento de identidad).

JURADO 1: Mario Javier Vargas Cañas / C.C: 88153491
JURADO 2: Erik German Yanza Hurtado / C.C: 76316177
JURADO 3: Edwin Gustavo Fuentes Ordoñez / C.C: 91490348

EN SU SESIÓN EFECTUADA EN: el Aula TIC de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Pamplona **A LAS** 08:15
HORAS, DEL DÍA 15 **DEL MES** de Diciembre **DEL AÑO** 2015

Terminadas sus deliberaciones, y en cumplimiento de las normas y acuerdos de los órganos de dirección de la Universidad de Pamplona, se ha llegado a la siguiente conclusión:

Primera Conclusión: Otorgar la Calificación de: 4.5 (en números)

- Meritorio (>=4.50)
 Excelente (>=4, <=4.49)
 Aprobado (>=3, <=3.99)
 Incompleto (<=2.99)

AL TRABAJO DE GRADO TITULADO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA DESHUMIDIFICACIÓN DE LA CORRIENTE DE PGR EN LA UNIDAD DE CRAQUEO CATALÍTICO UOP II EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA – ECOPETROL.

AUTOR(ES): Número de Autores (1)

Nombres:	JULIO ALEJANDRO TOVAR ANAYA	COD.	1102861727
Nombres:		COD.	
Nombres:		COD.	

DIRECTOR Y/O TUTOR: Alvaro Eulalio Villamizar Villamizar /C.C: 79956635

Segunda Conclusión: Emitir los siguientes criterios

No.	DESCRIPCIÓN	RECOMENDAR	
		SI	NO
1.	Recomendar para presentar en eventos.	X	
2.	Recomendar para publicación.	X	
3.	Recomendar para ser continuado en otros trabajos.	X	

Otras: _____

Tercera Conclusión: Avalar el cumplimiento del Trabajo de Grado, para optar por el Título de INGENIERO QUÍMICO

Firmas del Jurado Calificador:

[Firma] JURADO 1
 Erik German Yanza H. JURADO 2
 Edwin Fuentes JURADO 3
Alvaro E. Villamizar V. Director Comité Trabajo de Grado
Alvaro E. Villamizar V. Director Unidad Académica

Nota: Diligenciar debidamente todos los espacios requeridos en el formato.



Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750 - www.unipamplona.edu.co

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA DESHUMIDIFICACIÓN DE LA CORRIENTE DE PGR EN LA UNIDAD DE CRAQUEO CATALÍTICO UOP II EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA ECOPETROL

Julio Alejandro Tovar Anaya
Código: 1102861727

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER
COLOMBIA
2015



Una universidad *incluyente* y *comprometida* con el desarrollo integral



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA DESHUMIDIFICACIÓN DE LA CORRIENTE DE PGR EN LA UNIDAD DE CRAQUEO CATALÍTICO UOP II EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA ECOPETROL

PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO MODALIDAD PASANTÍA

Julio Alejandro Tovar Anaya
Código: 1102861727

Director
Ing. Álvaro E. Villamizar V.
CoDirector
Ing. Edwin G. Fuentes O.

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER
COLOMBIA
2015



AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a Dios primeramente por ser un excelente amigo y compañero durante toda esta travesía, capaz de ayudarme en cada una de las situaciones de mi diario vivir. A mis padres por infundirme valores y principios que me han brindado mucha enseñanza y me han permitido tomar la vida con madurez y respeto.

Agradecimiento a la UNIVERSIDAD DE PAMPLONA y al personal docente del programa de ingeniería química por su maravilloso aporte en el saber y formación de los estudiantes.

A ECOPETROL S.A. y a todos los integrantes del Departamento de Cracking II, encabezados por el Ingeniero Nelson Angulo, quienes de manera desinteresada me acogieron como parte del equipo durante mis seis meses de práctica empresarial. Un muy especial agradecimiento al Ingeniero Oswaldo Muñoz Espinoza por su excelente aporte en la producción del conocimiento, que me sirvió de guía para el desarrollo de este estudio y también en el desarrollo de mi práctica.





CONTENIDO

<u>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>7</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
1.3. JUSTIFICACIÓN	8
1.4. OBJETIVOS	9
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.5. ALCANCE	10
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	<u>11</u>
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	11
2.2. MARCO TEÓRICO	11
2.2.1. CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO (FCC)	11
2.2.2. PROPILENO	13
2.2.3. COALESCENCIA	16
2.2.4. EMPACADO CON TAMICES MOLECULARES	18
2.2.5. OTRAS MODALIDADES	19
2.2.6. MÉTODO ELECTRE.....	20
2.3. GLOSARIO	21
<u>3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</u>	<u>22</u>
<u>4. METODOLOGÍA.....</u>	<u>23</u>
4.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	23
4.1.1. CARGA DE PGR PARA EVALUACIÓN DE TODOS LOS ESCENARIOS.....	24
4.1.2. BASE DE CÁLCULO	26
4.2. EVALUACIÓN ESCENARIO 1: <i>TORRE SECADORA T-2756</i>	28



4.2.1. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN..... 30

4.3. EVALUACIÓN ESCENARIO 2: TORRES T-560, T-561 Y T-563 31

4.3.1. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN..... 32

4.4. EVALUACIÓN ESCENARIO 3: TAMBORES DE ADSORCIÓN/COALESCENCIA..... 34

4.5. APLICACIÓN MÉTODO ELECTRE..... 34

5. RESULTADOS 35

5.1. ESCENARIO 1: SIMULACIÓN TORRE T-2756..... 35

5.1.1. PERFIL DE TEMPERATURA DENTRO DE T-2756..... 38

5.1.2. EVALUACIÓN CARGA MAXIMA..... 40

5.2. ESCENARIO 2: SIMULACIÓN DE LAS TORRE T-560, T-561, T-563. 46

5.3. ESCENARIO 3: TAMBORES ADSORBENTES/ COALESCENTES... 51

5.4. MÉTODO ELECTRE: DECISIÓN MULTICRITERIO..... 53

6. CONCLUSIONES 56

7. BIBLIOGRAFÍA 58

ANEXOS 61





ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA DESHUMIDIFICACIÓN DE LA CORRIENTE DE PGR EN LA UNIDAD DE CRAQUEO CATALÍTICO UOP II EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA ECOPETROL

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El craqueo catalítico es un proceso de la refinación del petróleo que consiste en la ruptura catalítica de hidrocarburos más pesados con altos puntos de ebullición, con la finalidad de obtener hidrocarburos livianos de cadena corta con bajo peso molecular (Como gases). Los productos de la reacción catalítica son llevados a diferentes secciones de fraccionamiento donde se busca rectificar las corrientes hasta la condición más adecuada para competir en el mercado. ((UTN), 2015)

Dentro de los productos resultantes del rectificado de los gases provenientes del craqueo catalítico, el Propileno Grado Refinería (PGR) es una de las corrientes finales a las que se le busca retirar los componentes que puedan actuar como impurezas (H_2S , Agua, Butanos, C_5 , Entre Otros), ya que esta es vendida para posteriores tratamientos y usos. (Burdick & Leffler, 2010)

Todos los procesos en refinería están enfocados a un plan de metas privado, que posee una relación directa con la demanda de los clientes y la calidad que estos mismos exigen para la compra de un producto. (Ecopetrol, 2015)

Para las unidades de craqueo catalítico se ha estipulado que la corriente de PGR entregada a los clientes no debe contener agua libre, ya que la presencia de agua puede ser el foco de inicio para reacciones de corrosión y crear de esta manera dificultades para el transporte, lo cual los obliga a tener que retirar esa agua por su propia cuenta. Por lo tanto es necesario evaluar diferentes



alternativas de separación del agua libre contenida en el Propileno Grado Refinería (PGR) de la unidad de craqueo catalítico UOP II, haciendo uso de equipos existentes en la Refinería de Barrancabermeja con el fin de cumplir el plan de calidad y evitar problemas de corrosión.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la alternativa más viable para retirar el agua libre presente en la corriente de PGR de la unidad de craqueo catalítico UOP II para evitar reacciones de corrosión, que vincule el uso de activos propios de la refinería de Barrancabermeja?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La finalidad de una refinería es obtener productos con un grado de pureza aceptable bajo diferentes condiciones de proceso que tanto sean viables económicamente para el negocio, como también asequibles a los parámetros de diseño de los equipos instalados en campo.

Los compuestos más volátiles van inmersos con los gases de cima de los hidrocarburos más livianos que se evaporan en la torre de fraccionamiento principal. Adicionalmente estos gases no tienen un valor rentable para la venta en el mercado por lo tanto se someten a diferentes procesos donde se puedan ir separando uno a uno los compuestos, de tal manera que las corrientes de producto sean mucho más limpias y rentables.

La corriente de PGR de la unidad de craqueo catalítico UOP II es derivada de una corriente anterior de GLP que puede tener un contenido variado de butanos, propanos y contaminantes como H₂S, Agua, CO (Compuestos altamente volátiles). La corriente de GLP se lleva a una torre depropanizadora, la cual tiene como finalidad separar todos los compuestos según su grado de volatilidad desde el C₃ en adelante saliendo en la corriente de cima y los otros compuestos más pesados por el fondo. El PGR producto obtenido en la cima



de la torre depropanizadora se lleva a un tratamiento con aminas y diferentes tipos de filtros que retiren el H₂S presente en la corriente.

Según la descripción del proceso, no existe ninguna clase de manejo con el contenido de agua que ha podido ser arrastrada a lo largo del proceso en la unidad de craqueo catalítico UOP II. Por lo tanto se busca encontrar una alternativa viable que permita el tratamiento de esta humedad, ya que puede ser promotor de reacciones de corrosión.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Evaluar diferentes alternativas de separación del agua libre contenida en el Propileno Grado Refinería (PGR) de la unidad de craqueo catalítico UOP II, haciendo uso de equipos existentes en la Refinería de Barrancabermeja, con el fin de cumplir el plan de calidad y evitar problemas de corrosión en equipos de almacenamiento.

1.4.2. Objetivos Específicos

Diagnosticar la composición del PGR, a la salida del proceso de tratamiento con amina y en la sección de salida de la UOP II.

Evaluar el comportamiento de las torres de destilación presentes en la unidad Orthoflow y la torre secadora en UOP I en un escenario viable ya sea para rectificar la corriente o retirar agua libre, mediante el uso del simulador de procesos Aspen Hysys

Analizar las condiciones de diseño de los tambores que se encuentren fuera de funcionamiento en la refinería ya sea para aplicar en ellos un sistema secado por lechos adsorbentes o enmallado para coalescencia.



Analizar mediante el método Electre los criterios para encontrar la condición más viable o el aporte individual de cada alternativa en el tratamiento del PGR.

1.5. ALCANCE

Se pretende en este proyecto evaluar algunas alternativas que estén vinculadas al uso de los equipos de la refinería de Barrancabermeja de manera que se pueda encontrar solución viable para retirar el agua libre. Para este estudio se parte de la base de diseño de todos los equipos en uso y en desuso con la finalidad de verificar si son aptos para el tratamiento del PGR a las condiciones de proceso de la unidad de craqueo catalítico UOP II, lo cual brindara una panorama adecuado para realizar dicha operación.

Las condiciones operacionales se evaluaran bajo criterios de simulación de procesos para los equipos en servicio, al igual se debe tener en cuenta en todo momento las condiciones de diseño de todos los equipos estipulados, desde su fabricación y ensamblaje.

Para las alternativas referente a los lechos empacado o enmallado para coalescencia, la ingeniería se llevara de manera evaluativa, vinculando la solución a un criterio de decisión propio de la empresa, es decir, no se desarrollara el diseño de ninguno de los equipos, sino más bien se buscaran las condiciones bajo las cuales seria apto el proceso.



2. MARCO REFERENCIAL

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En el año 2013 el ICP realizo diferentes muestreos de humedad a las corrientes de PGR de la UOP I, UOP II y Orhtoflow con la finalidad de determinar bajo que especificaciones de agua libre se encontraba cada una de estas, ya que la presencia de esta puede generar dificultades mecánicas en el almacenamiento de dicho producto, encontrando que:

Tabla 1. Cantidad de humedad reportada por el ICP corrientes de PGR.(Ecopetrol, 2013)

Agua libre	>11000 ppmV	<50 ppmV	< 50 ppmV

A través de todo esto se ha propuesto el desarrollo de ingenierías conceptuales que puedan mitigar esta falencia y por lo tanto darle una solución certera y adecuada.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO (FCC)

2.2.1.1. Breve detalle

En los procesos de destilería el craqueo catalítico fluidizado es el más ampliamente usado para la conversión de cortes pesados de hidrocarburos a componentes livianos de mayor valor agregado. Productos que no se pueden obtener simplemente en las destilaciones atmosféricas y al vacío.

Las unidades de lecho fluidizado cuentan un catalizador a modo de partículas alrededor de los 50 micrones que tiene la capacidad de interactuar con una

área catalítica más amplia a los otros catalizadores de bolas comerciales.((UTN), 2015)

A continuación se muestran algunas configuraciones de las unidades de FCC.

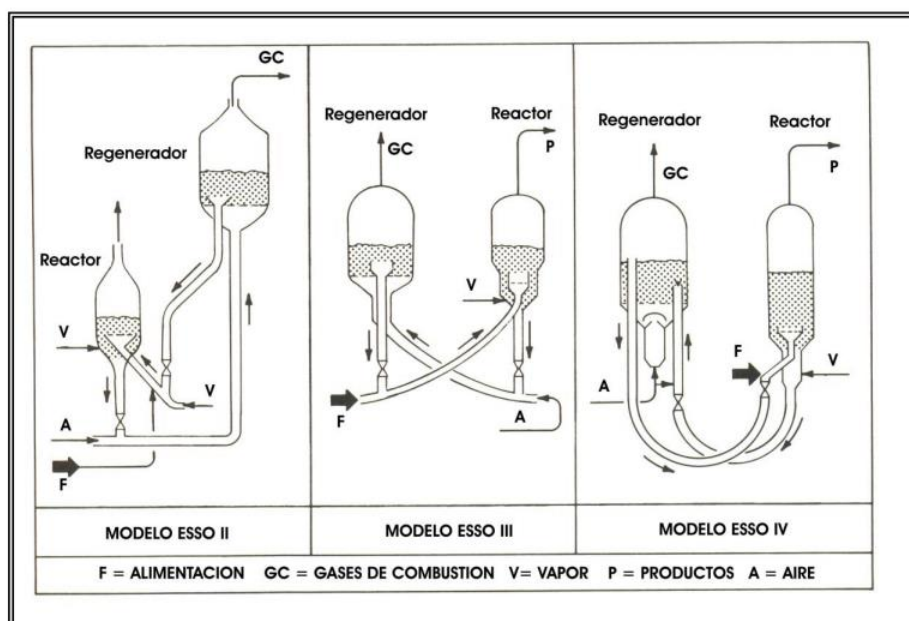


Figura 1. Configuraciones de unidades de FCC. ((UTN), 2015).

Este tipo de reacción funciona bajo los principios de un catalizador heterogéneo con una base soportada (MALONEY, 2008). El mercado existe una gran variedad de catalizadores dependiendo de la actividad y selectividad que se desea obtener en los productos, la mayoría de ellos hechos a base de alúminas, silicio, zeolitas y hasta compuestos sintéticos.((UTN), 2015)

2.2.2. PROPILENO

PGR: Propileno Grado Refinería

2.2.2.1. Descripción

El Propileno es uno de los compuesto olefínicos más ligeros. Las propiedades más relevantes del propileno son:

Temperatura normal de ebullición:	-53.9°F
Temperatura crítica:	197,24 °F
Presión crítica:	4,47 MPa
Límites de explosividad en el aire:	2,2 – 10,0 %v
Peso molecular:	42.08
Punto de Fusión normal:	-301.5°F
Vapor density at 0°C (air=1):	1.4

La química del Propileno queda determinada por la presencia de un doble enlace y de átomos de hidrógeno alílico. Cuando uno de estos hidrógenos es abstraído, el radical alilo resultante queda estabilizado por resonancia. Las principales reacciones en que interviene el propileno consisten en reacciones de polimerización, de adición electrófila y de sustitución. (Burdick & Leffler, 2010)

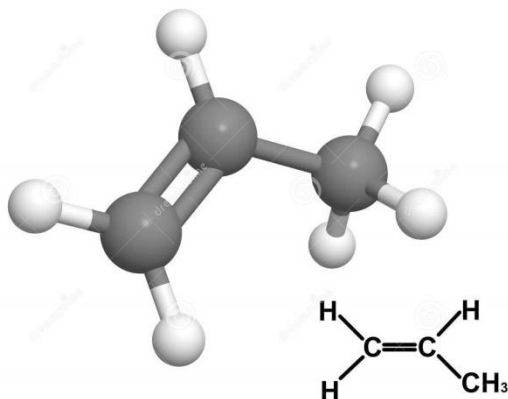


Figura 2. Molécula de Propileno

El propileno es también un gas incoloro a temperatura ambiente. Es tan inflamable como el GLP y se puede utilizar como un suplemento o sustituto del GLP. Sin embargo tienden a formar gomas en las válvulas y por tanto no es ampliamente utilizado de esta manera. Además, la industria petroquímica paga un precio más alto por propileno que los usuarios de GLP están dispuestos a pagar. (Leffler, 2008)

2.2.2.2. Producción

La obtención del propileno se lleva a cabo principalmente como subproducto junto con el etileno y otras olefinas. En refinería, el propileno se obtiene principalmente como subproducto del cracking catalítico fluidizado (FCC) de gasóleos. De nuevo, la producción depende del destino al que se orienta la refinería (por ejemplo, las refinerías de Estados Unidos, más orientadas a maximizar la producción de gasolina, producen más propileno que las de Europa). A nivel mundial, las relación etileno/propileno es aproximadamente de 2/1, con variaciones según los países que dependen de la relación propileno de craqueo con vapor/propileno de refinería, y del tipo de alimentación utilizada. El propileno se separa por destilación de la corriente de GLP, obteniendo propano, Propileno y otros componentes menores en la cima y los C4+ en los fondos. En la torre C3/C3=, el propileno se separa por cabeza de la columna, mientras que por fondo se separa una mezcla rica en propano. El tamaño de la columna varía según el grado de pureza buscado para el propileno (el grado polimérico requiere mayor número de platos).

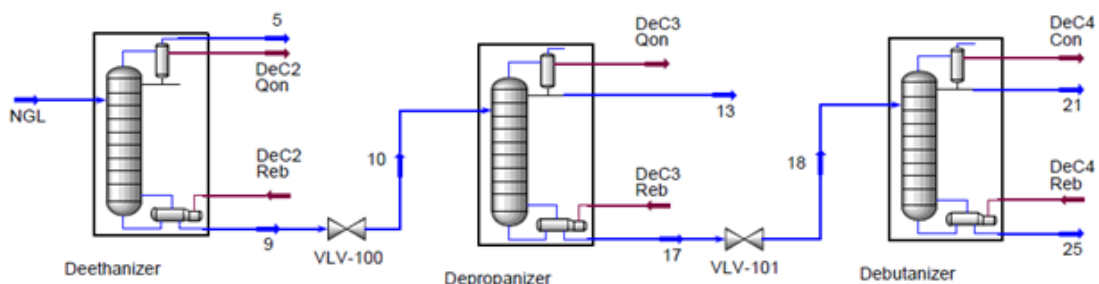


Figura 3. Proceso de Obtención de C3/C3=. (Ashford, 2010)

El propileno se compra y se vende en tres calidades comerciales diferentes que se diferencian por la cantidad de acompañamiento de propano mezclado, grado polímero es de 97% a 99% de propileno.; grado químico es 92% a 95%; y el grado refinería es 50% a 65%. El propileno grado refinería es la mezcla de propano / propileno procedente la sección de craqueado. Propileno grado químico sale de la nafta y el gasoil en alrededor de 92% con un 8% de propano. Cualquiera de estos dos grados puede fraccionarse para obtener el grado polímero.(Leffler, 2008)

A través de la siguiente figura se muestra el flujo de propileno por diferentes grados y lo que es necesario para trasladarse del uno al otro.

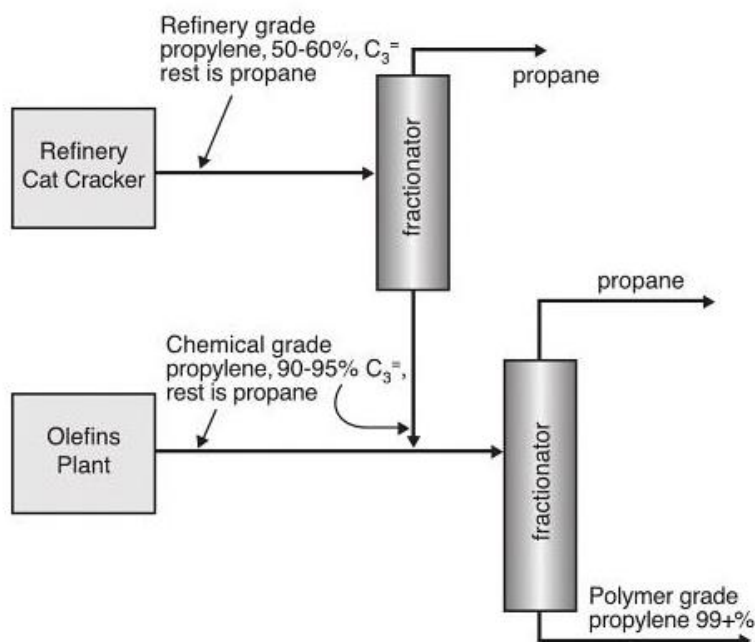


Figura 4. Fraccionamiento para la purificación del propileno.(Burdick & Leffler, 2010)



2.2.2.3. Transporte

El manejo logístico que se le da al Propileno es más convencional que al etileno. El Propileno puede ser transportado a través de carro tanques, tuberías a una presión aproximada de unos 200 psi para mantener el material en estado líquido. Las instalaciones de almacenamiento incluyen balas de acero (~ 2.000 libras) o esferas (~ 20.000 libras), o recipientes excavados (más de 20 millones de libras). (Leffler, 2008)

De su transporte parte el inicio de muchos otros procesos derivados del Propileno en sus diferentes grados de pureza.

2.2.2.4. Usos

Cerca de la mitad del propileno utilizado para petroquímica va a polipropileno, fibras y moldeo por inyección. Otras aplicaciones importantes incluyen óxido de propileno, alcohol isopropílico, cumeno, oxo alcoholes, los ácidos acrílicos y acrilonitrilo. Los productos de consumo se muestran como alfombras, cuerda, ropa, plásticos en automóviles, juguetes, electrodomésticos, muebles, alcohol y pegamento epoxi. (Burdick & Leffler, 2010; LEC)

2.2.3. COALESCENCIA

2.2.3.1. Generalidades

La coalescencia es un fenómeno de carácter binario generalmente en el cual las burbujas de un líquido o un gas pueden unirse para dar una sola burbuja (Gota), y de esta manera propiciar una separación. Las primeras investigaciones sobre la coalescencia son de finales de los 60, pero es sólo después de 1985 que se toma este fenómeno como algo real y se empiezan a analizar los parámetros que pueden afectarlo, como la viscosidad, el área de contacto interfacial, la tensión superficial, la difusividad, entre otros. (Rafael Álvarez, 2009) (UNITECNO).

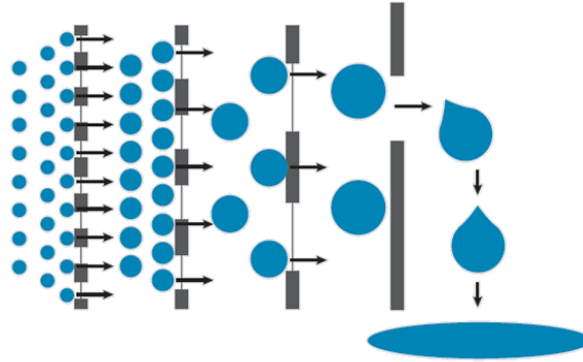


Figura 5. Coalescencia de un líquido. (UNITECNO)

2.2.3.2. Tecnología

- *Coalescedor/decantador horizontal de dos fases (Líquido- Líquido).*

Su mayor aplicación está en la industria petroquímica en el tratamiento de corriente de hidrocarburos para la separación de la fase pesada dispersa dentro de la corriente. Los tamaños de las gotas se encuentran dentro del intervalo de 100 μ -300 μ . Como el volumen de las gotas presentes es menor, esto genera una dificultad a la hora de encontrarse una gota con la otra. A medida que el flujo pasa a través de la primera etapa, las mallas o las fibras actúan como dianas donde las gotas pequeñas coalescen y se recogen. El diámetro, la forma de la malla, la densidad, la profundidad y el material de construcción controlan la eficiencia de los medios coalescentes. (Koch-Glitsch, June 2009)

El tambor a menudo utiliza un "boot" (o "bota") para recoger el pequeño volumen de fase dispersa y sirve como un controlador de interfaz líquido-líquido. (Koch-Glitsch, June 2009)

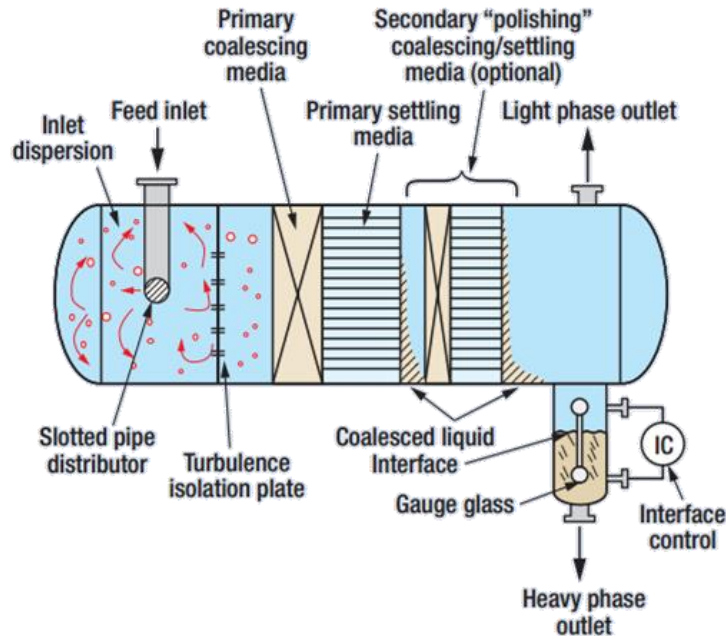


Figura 7. Arreglo típico para un coalescedor de dos fases. (Koch-Glitsch, June 2009)

2.2.4. EMPACADO CON TAMICES MOLECULARES

2.2.4.1. Generalidades

Otra de las modalidades usadas para secar corrientes intermedias en la industria petroquímica es el empacado de tambores con material adsorbente como es el caso de los tamices moleculares.

Un tamiz molecular es un material con poros pequeños de un tamaño preciso y uniforme que se usa como agente adsorbente para gases y líquidos. A diferencia de un filtro, el proceso opera a nivel molecular. Un tamiz molecular puede adsorber hasta un 22% de su propio peso en agua (Chempack). Usualmente los tamices son a base aluminosilicatos, arcillas, zeolitas, carbones activados, compuestos sintéticos, etc. que tienen poros a través del cual las moléculas pequeñas pueden pasar. (SilicaGel)

Los tamices pueden ser regenerados dándole una vida útil al proceso, mucho más extensa de lo usualmente aceptado por otros materiales.(BestChem)

La función básica de una de una unidad con tamiz molecular es eliminar el agua, debido a las características de adsorción (Figura 8).(JOHNSON)



Figura 8. Deshidratadoras de Tamices Moleculares – QB Johnson. (JOHNSON)

2.2.5. OTRAS MODALIDADES

Además de los métodos de secado por coalescencia y tamices moleculares existen algunos métodos que son propios de la base de la cual la ingeniería química se desarrolla, teniendo como principio principal la destilación donde se puede realizar la separación del agua en una corriente o a su vez rectificar dicha corriente para condiciones de pureza deseada que le dan un valor agregado al producto.(Warren L. McCabe, 2007).



2.2.6. MÉTODO ELECTRE

El método electre es un método de decisión multicriterio para la valoración de alternativas a través de un conjunto de condiciones a favor o en contra para el proyecto que se esté ejecutando. (Angel M. Gento)

Este método fue creado desde el centro Lamsade de la Universidad de París desde el año 1969 por B. Roy y desde entonces se le han hecho modificaciones para mejorar su criterio de decisión.(Angel M. Gento)

El método se aplica a través de la construcción de tablas o matrices que se crean a partir de la tabla de calificaciones, es decir, lo que se busca es que se le pueda asignar un peso mucho mayor a un criterio que a otro y que a través de dicho análisis se encuentre la secuencia en que las alternativas serán viables para solucionar el problema propuesto.(Enrique Arce Medina, 2013).

La matriz de concordancia, cuantifica hasta qué punto para un numero de criterios definidos una alternativa es mejor que la otra y la matriz de discordancia determina en cuanto una alternativa es peor que la otra.

<i>Jerarquía</i>	<i>Alternativas</i>
Primero	A3
Segundo	A2
Tercero	A1

Figura 9. Jerarquía de selección para un problema Ejemplo.



2.3. GLOSARIO

ALC: Aceite Liviano de Ciclo.

BOTA: Fracción saliente de un tambor que tiene como función principal la recolección de la fase más pesada anterior a un proceso de drenaje.

COALESCENCIA: Fenómeno en el cual la separación se genera con la formación de gotas que precipitan por efecto de la densidad como efecto de la naturaleza de la sustancia.

CRACKING CATALÍTICO: Proceso de ruptura de hidrocarburos pesado para la obtención de hidrocarburos más livianos.

DECANTADOR: Equipo que aplica principio de separación física referente a la diferencia de densidades de un mismo sistema tratado.

PGR: Propileno grado refinería.

SIMULACIÓN: es el artificio contextual que referencia la investigación de una hipótesis o un conjunto de hipótesis de trabajo utilizando modelos.

TAMBOR: Equipo industrial referente a separadores o tanques de almacenamiento momentáneo durante una red de proceso.



3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la siguiente tabla se presenta las actividades a realizar para llevar a cabo con éxito la presente propuesta.

Tabla 2. Cronograma de actividades

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Documentación	■	■	■															
Presentación de la propuesta				■														
Documentación de los parámetros de la corriente de PGR.					■	■												
Identificación de equipos en uso y fuera de servicio							■	■	■									
Simulación para la Torre secadora y las torres de Orthoflow. (máxima Carga)										■	■	■						
Evaluar las condiciones de tambores disponibles para adsorción con tamices.													■	■				
Análisis de la alternativa seleccionada (Viabilidad)																■		
Preparación del informe final																	■	■



4. METODOLOGÍA

Este estudio se fundamentó en la evaluación de manera descriptiva de tres diferentes escenarios de tratamiento para la corriente de PGR (Propano-Propileno) producida en la Unidad de Ruptura Catalítica UOP II, mediante los cuales se establecieron los criterios operacionales de trabajo necesarios para tratar la corriente de PGR retirándole su contenido de humedad y de esta manera enriqueciendo su calidad.

Escenario 1: Torre secadora T-2756

Escenario 2: Torres T-560, T-561, T-563

Escenario 3: Tambores de Adsorción/Coalescencia

Todo este estudio de dichas condiciones operacionales, se soportaron bajo criterios de simulación que permitieron establecer el comportamiento de las unidades.

Para el desarrollo de las simulaciones se contó con el software simulador de procesos Aspen Hysys en su versión 8.4.

4.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La fuente de información base para el desarrollo del estudio radicó en las condiciones operacionales bajo las cuales los equipos se encuentran o han estado en funcionamiento dentro de la refinería. De esta manera se tuvo en cuenta que como fuente de información primaria referente a los equipos se manejó los parámetros de diseño evaluados por cada una de las firmas fabricantes, al igual que la realimentación del funcionamiento en cada una de la unidades, detallado a través del Manual de Descripción del Proceso aportado por Ecopetrol S.A.



4.1.1. Carga de PGR para evaluación de todos los escenarios.

Dado a que el estudio parte del tratamiento para el PGR producto de la Unidad de Ruptura Catalítico UOP II, fue necesario conocer las condiciones de la corriente, a través de la tabla 10.

Tabla 10. Composición recalculada con contenido de agua presente en PGR.

UOP II [Frac. Mol] Asumiendo un contenido de Agua estimado	
METANO	0,000000
ETANO	0,000103
ETILENO	0,000022
PROPANO	0,281440
PROPILENO	0,664214
ISOBUTANO	0,000701
N-BUTANO	0,000096
PROPADIENO	0,000012
ACETILENO	0,000006
TRANS-2-BUTENO	0,000039
1-BUTENO	0,000105
ISOBUTILENO	0,000244
CIS-2-BUTENO	0,000017
CICLOPENTANO	0,000000
ISOPENTANO	0,000000
N-PENTANO	0,000000
1,3-BUTADIENO	0,000302
METILACETILENO	0,000012
PENTENOS	0,000000
C6+	0,000000
C4+	0,001439
AGUA	0,051246
Temperatura: 100°F	
Presión: 230 psig	



También se tuvo en cuenta la composición y la condición de proceso del PGR producido por la Unidad de Ruptura Catalítica UOP I, a través de la tabla 11, debido a que la torre T-2756 se encuentra en funcionamiento actual.

Tabla 11. Composición estimada PGR UOP I.

UOP I [Frac. Mol] Asumiendo un contenido de agua estimado	
METANO	0,000000
ETANO	0,000040
ETILENO	0,000299
PROPANO	0,286787
PROPILENO	0,694447
ISOBUTANO	0,000545
N-BUTANO	0,000037
PROPADIENO	0,000000
ACETILENO	0,000005
TRANS-2-BUTENO	0,000005
1-BUTENO	0,000068
ISOBUTILENO	0,000116
CIS-2-BUTENO	0,000005
CICLOPENTANO	0,000004
ISOPENTANO	0,000000
N-PENTANO	0,000000
1,3-BUTADIENO	0,000293
METILACETILENO	0,000000
PENTENOS	0,000000
C6+	0,000000
C4+	0,001040
AGUA	0,016311
Temperatura: 120°F	
Presión: 313,3 psig	

Los datos fueron extraídos de la herramienta empresarial conocida como Sistema de Información de Laboratorio Industrial (CDLAB) de la Refinería de





Barrancabermeja y también de la información recopilada referente al análisis de humedad llevado a cabo en 2013 (Tabla 1), lo que llevo a recalculer el promedio de las cromatografías adicionando el contenido de agua medido en campo. De esta manera manteniendo la integridad del producto.

4.1.2. Base de cálculo

A nivel general las bases de cálculo conciernen a la información necesaria para evaluar los escenarios planteados en el presente estudio. Se tuvo en cuenta que para el escenario 1 y 2 se utilizó el simulador de procesos Aspen Hysys y para el escenario 3 se tomó la información de los equipos de manera analítica y a modo evaluativo.

Datos Operacionales: Los datos operacionales para la evaluación de los escenarios fueron obtenidos de diferentes fuentes como lo es la base de datos en línea PI con la cual cuenta la refinería, para conocer la información del proceso en tiempo real (Presiones, flujos, temperaturas, etc.). Debido a esto se tomó el periodo de 2015 para conocer las condiciones de salida de producto dentro de UOP II, partiendo que la condición general se plantea en la Tabla 1.

Datos de Diseño: Corresponde a datos mecánicos de los equipos, información contenida en los Datasheets (Hoja de información de los equipos), manuales e historiales de inspección. Anexo B

Tabla 12. Parámetros de diseños utilizados dentro del Estudio.

Temperatura de Diseño (°F)	Presión de Diseño (PSIG)	Diámetro del equipo (Ft)
Altura del equipo (Ft)	Diámetro de plato (Ft)	Espaciamiento entre platos (In)
Downcomer Clearance (In)	Tipo de Downcomer	Tipo de Plato
Ancho Downcomer (In)	Diámetro perforaciones (In)	Área Perforada (Ft ²)
Tipo de Derramadero	Altura Derramadero (In)	Flujo máximo para intercambiadores (Lb/h)
Succión y Descarga de Bomba (PSIG)	Calor transferido por Diseño (Btu/h)	Capacidad (m ³)

Datos suministrados: Con fin de mantener la integridad de las simulaciones y ajustar cada una de estas al funcionamiento real, se fortaleció este estudio con criterios heurísticos y el aporte por parte del personal de Ecopetrol S.A.

Tabla 13. Datos suministrados tenidos en cuenta para el desarrollo del estudio.

Variable	Valor	Fuente
Caída de Presión por plato	0,007 atm/plato	(Amparo Gómez Siurana)
Presión de trabajo para separar Propileno-Agua	<300 PSIG	(AZARPOOR AZARNOOSH, 1959) (KUNITOMO ISHII', 1966)
Eficiencia de Plato para torres de Propano/ Propileno	0,7	Estudio de eficiencias de plato para columnas (Confidencial)
Temperaturas de trabajo Propileno-Agua	<130 °F	(McKETTA, 1963) (KUNITOMO ISHII', 1966)
Inundación	80%	Hysys Default



4.2. EVALUACIÓN ESCENARIO 1: TORRE SECADORA T-2756

La Unidad de Ruptura Catalítica UOP I produce PGR a condiciones similares al de UOP II, añadiendo como tratamiento extra que UOP I cuenta con una torre secadora, la cual utiliza una corriente de ALC (Aceite Liviano de Ciclo) para impartir calor interno a la columna y de esta manera secar el PGR. El propósito del estudio radicó en verificar la capacidad máxima que puede cargar esta columna estableciendo el flujo máximo en barriles por día producido por UOP I y evaluando la cantidad que se podría desviar desde UOP II a UOP I en caso de ser viable el escenario.

Partiendo de la configuración real, se analizó el funcionamiento de la columna secadora y se establecieron las condiciones operacionales de trabajo habitual, por medio de visitas en planta y consulta en los manuales descritos anteriormente.

Para ello se estableció un modelo en el que Hysys pudiese simular de manera simple y compleja todo el sistema de secado, bajo las siguientes condiciones introducidas en la columna:

Tabla 14. Datos característicos de la T-2756 para simular.

Datos	Nombre	Unidad	Valor
Operacionales	Carga PGR UOP I	BPD	Aprox. 2100
	Temperatura de Cima	°F	Aprox. 120
	Temperatura de Fondo	°F	Aprox. 125
	Presión de Cima	Psig	269.3
	Presión de Fondo	Psig	279.3
	Fracción de H2O en la corriente	ppmV	Aprox. 100
Diseño	Numero de Platos de la Torre (De abajo hacia arriba)	#	20
	Diámetro sección de platos	ft	3
	Plato de Alimentación	#	20
	Espaciamiento entre platos	ft	2





Se debió tener en cuenta que Aspen Hysys posee unos métodos de solución para columnas de destilación, en los cuales se contemplan las composiciones plato a plato y esto lleva a la aplicación de cierto tipo de ecuaciones. Por lo tanto con el fin de obtener estimaciones por parte del programa se utilizó la opción del solver “No 2 Liq Check.” (Hysys, 2015), que permiten que la separación del agua se lleve a cabo fuera de la columna como sucede en la vida real.

Dado que la simulación necesita un criterio de veracidad, se utilizaron los Datasheets y las condiciones de diseño de los equipos que acompañan a la torre secadora T-2756 para su funcionamiento. Mayormente descritos en la siguiente tabla:

Tabla 15. Parámetros de diseño de los equipos dentro del circuito de la Torre T-2756

TAG EQUIPO	Descripción Limite	Valor	Unidades	Fuente
D-2756	Reciclo	113000	SCFH	Condiciones Operativas del sistema
	Volumen	25,6	M3	Data sheet del Equipo
P-2759	Flujo de Descarga	438	GPM	Data sheet del Equipo
	Presión de Descarga	328	PSIG	Data sheet del Equipo
	Presión de Succión	272	PSIG	Data sheet del Equipo
E-2766	Carga de Hidrocarburo	53110	LB/H	Data sheet del Equipo
	Calor Entregado	7,34	MMBTU/H	Data sheet del Equipo
E-2768	Carga de Hidrocarburo	42192	LB/H	Data sheet del Equipo
	Calor Entregado	2,16	MMBTU/H	Data sheet del Equipo
E-2767	Carga de Hidrocarburo	23409	LB/H	Data sheet del Equipo
	Calor Entregado	0,55	MMBTU/H	Data sheet del Equipo
P-2705	Flujo de Descarga	438	GPM	Data sheet del Equipo
	Presión de Descarga	328	PSIG	Data sheet del Equipo
	Presión de Succión	272	PSIG	Data sheet del Equipo





4.2.1. Metodología de desarrollo de la simulación

Con el propósito de obtener una simulación que se adapte a la rigurosidad del proceso se usaron parámetros como las temperaturas de cima y fondos para converger la columna, al igual que en ocasiones posteriores se usó el porcentaje de recuperación de H₂O en la cima y la recuperación de propano en el fondo como método de ajuste a la condición de trabajo real de la torre. Los datos de diseño para la columna, fueron introducidos en la herramienta Tray Sizing de HYSYS, en su modo de evaluación (Rating), con el fin de tener en cuenta la hidráulica de la torre dentro del modelo.

A continuación se muestra un esquema que describe el desarrollo evaluativo de la T-2756.



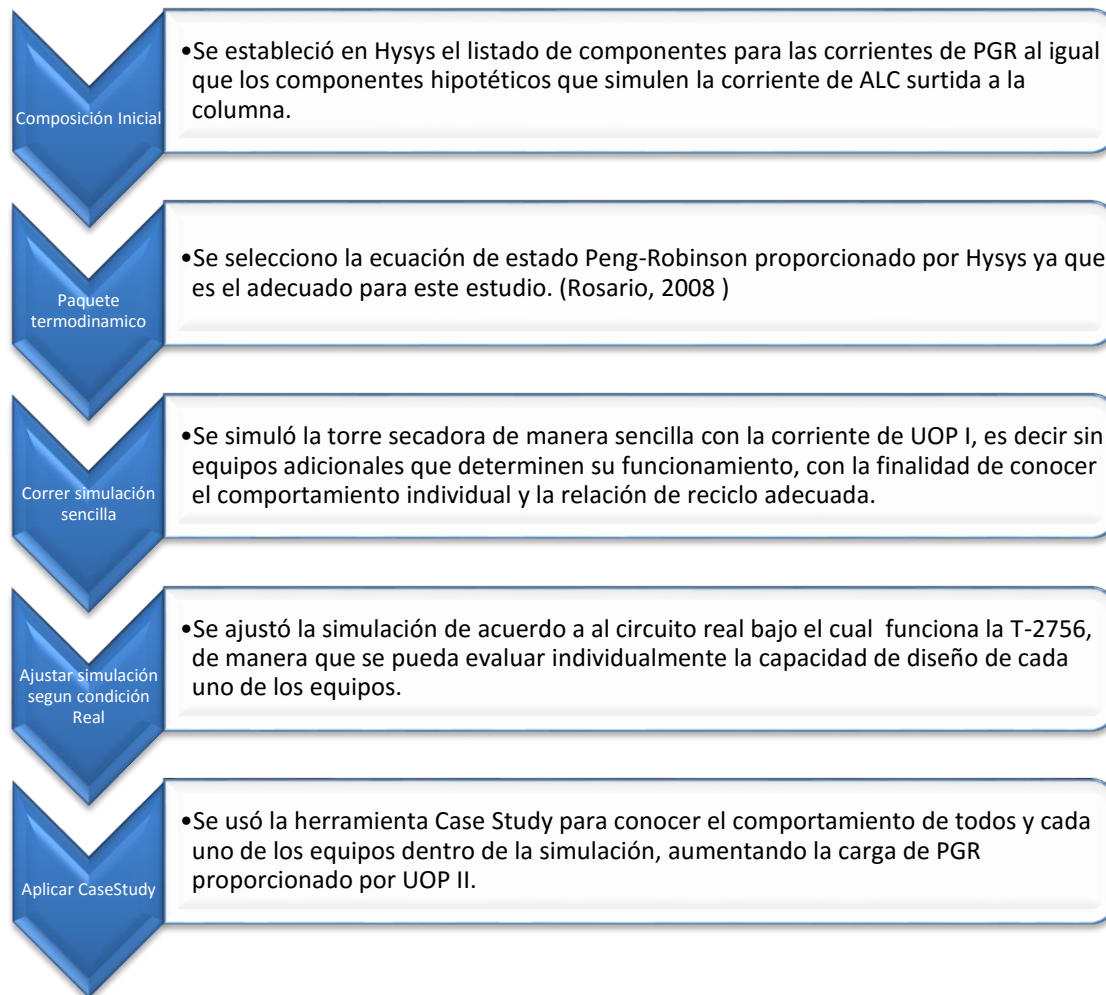


Figura 10. Esquema de evaluación para la T-2756.

Fuente: Autor

4.3. EVALUACIÓN ESCENARIO 2: TORRES T-560, T-561 Y T-563

Se evaluó este segundo escenario con el propósito de no solo aplicar un secado, sino que dada la circunstancia de que se cuenta con un arreglo de tres torres, se propuso dar un aumento de la calidad evaluando el aumento en la concentración de propileno con respecto al propano.



Se tuvo en cuenta que para estas torres ya se realizó un estudio en el que se evaluó la cantidad de flujo de PGR aceptado para rectificar la corriente y obtener un propileno en grado polímero o grado químico de 92% a 99% de pureza (Ferreira, 2012). La razón por la cual se volvió a evaluar esta condición es debido a que en el estudio hecho por (Ferreira, 2012), no se tuvo en cuenta el contenido de agua presente en la corriente, siendo este un factor muy importante dentro de la evaluación de cada una de la columnas.

También se tuvo en cuenta que estas torres nunca han funcionado tratando PGR por lo tanto se propone la evaluación obviando parámetros propios de la ingeniería mecánica. De esta manera a continuación se describen algunas características generales de estas torres mediante la tabla 16.

Tabla 16. Características generales para los equipos del Escenario 2.(Ferreira, 2012)

Característica	T-560	T-561	T-563
Función Original	Separar el metano de los demás gases livianos	Separar los etanos de los demás gases livianos	Separar el Etileno del Etano
No. de platos	23	31	78
Diámetro	Rectificación: 2' 8" Despojo: 3' 6"	3' 6"	4'
Plato de alimentación	5	12	56

Para la evaluación de este escenario también se tuvo en cuenta el criterio de convergencia seleccionado en HYSYS para la torre T-2756.

4.3.1. Metodología de desarrollo de la simulación

Al igual que para el escenario 1, nuevamente el estudio se basó en el análisis respecto a la capacidad de cada una de las torres para tratar el PGR, por lo tanto se utilizó la herramienta Tray Sizing provista por HYSYS en su modo

“Rating” para verificar la hidráulica dentro de la torre y en esta ocasión debido a la falta de uso y fuentes de información propia, se recurrió a los criterios heurísticos y de procesos, plasmados en la Tabla 13. De esta manera la selección de temperaturas y presiones de trabajo llevo a la convergencia cada una las columnas dentro del simulador.

A continuación se muestra un esquema que describe el desarrollo de la simulación para las torres:



Figura 11. Esquema de evaluación para las torres T-560, T-561, T-563.

Fuente: Autor

Debido a que los parámetros escogidos para converger las torres fueron las temperaturas y las presiones, constantemente se utilizó la herramienta Case Study para verificar la composición del destilado durante las corridas de la simulación. Se buscó establecer un circuito de separación que favoreciera la



cantidad de carga soportada para rectificar y secar, como lo plantea la figura 11, para de esta manera poder calcular el porcentaje de PGR que podría desviarse desde UOP II a las torres T-560, T-561 y T-563.

4.4. EVALUACIÓN ESCENARIO 3: TAMBORES DE ADSORCIÓN/COALESCENCIA

El estudio del tercer escenario, se alejó del uso del simulador y partió de los conocimientos referentes a los métodos de separación por adsorción o coalescencia, descritos anteriormente en la sección 3. Por lo tanto, se tuvo como soporte base la búsqueda de equipos en los cuales sea posible el uso de un empacado o enmallado, que reduzca el contenido de agua del PGR de acuerdo a las condiciones de diseño de cada uno.

4.5. APLICACIÓN MÉTODO ELECTRE

El método electre se usó como un método de decisión multicriterio partiendo de una matriz que refleja las ventajas y desventajas de cada uno de los escenarios, de manera que se estableció la jerarquía mediante la cual se podrá aplicar cada uno de los escenarios para tratar el PGR en la unidad de ruptura catalítica UOP II.

$$\text{Concordancia: } C_{h,k} = \frac{\sum_j A_k S_j A_k w_j}{\sum_j w_j}$$

$$\text{Discordancia: } D_{h,k} = \frac{\text{máxima positivo } (a_k - a_h) \text{ en los } j \text{ criterios}}{\text{calificación mayor} - \text{calificación menor}}$$

Criterio de jerarquía:

La Alternativa A_h domina a la alternativa A_k si $C_{h,k} \geq p$ y sólo si $D_{h,k} \leq q$.



5. RESULTADOS

5.1. ESCENARIO 1: SIMULACIÓN TORRE T-2756

Se verificó la funcionalidad del paquete termodinámico como primera instancia, antes de entrar al ambiente de simulación de HYSYS (Figura 12).

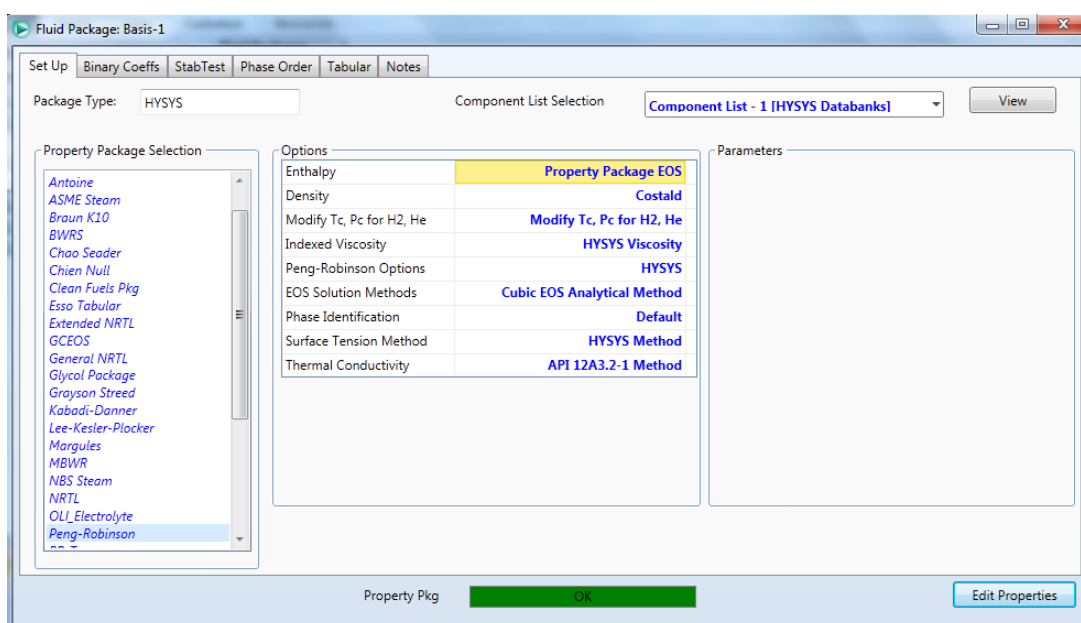


Figura 12. Selección del paquete termodinámico de acuerdo a la naturaleza y condiciones de los componentes. (Rosario, 2008)

De esta manera HYSYS identificó la compatibilidad con los componentes que se plantearon en las tablas 10 y 11, y se prosiguió a simular la torre de secado de manera sencilla, es decir sin ningún equipo extra, a excepción de la bomba de reciclo. Todo esto para corroborar que HYSYS permite simular este tipo de columnas de manera simple y para situaciones donde la finalidad es solo identificar el trabajo hidráulico en la columna.

La simulación de la figura 13 convergió bajo el arreglo: Reboiler + 20 platos + Condensador , siendo el condensador el lugar donde se alimenta el PGR de UOP I, también se condensan los gases de cima y se genera la separación para el agua. Por lo tanto el condensador de esta columna simula el comportamiento del D-2756 y del E-2766 de acuerdo a la tabla 15.

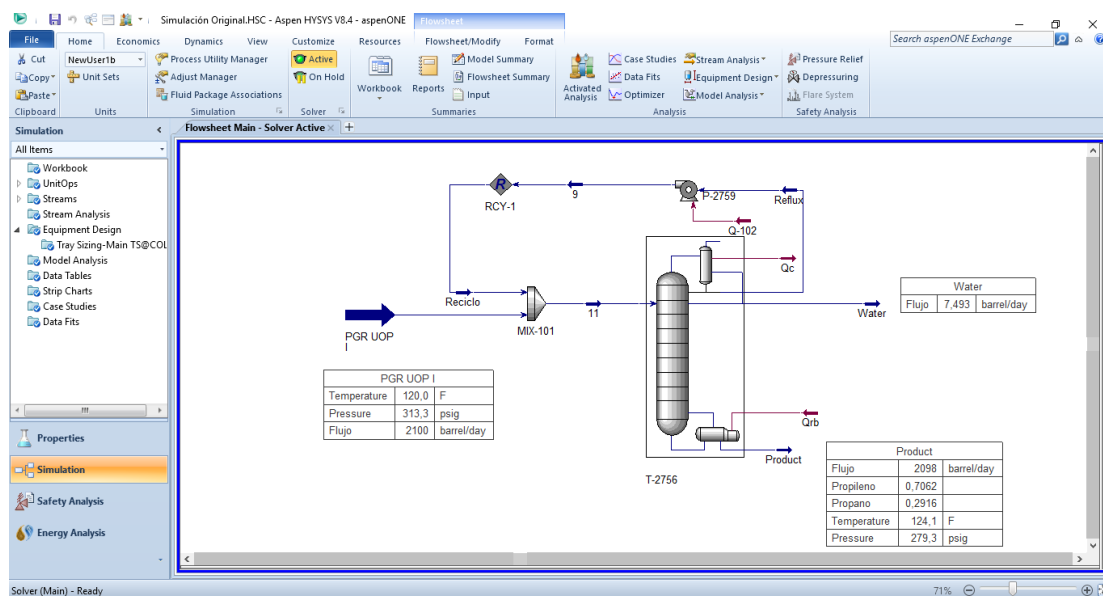


Figura 13. Simulación simple para una Torre de Secado. T-2756.

En este sentido la figura 14 muestra el perfil de temperatura dentro de la torre, con el cual se pudo identificar que el proceso de separación se estaba dando en cada una de las etapas, es decir que no hubo platos donde la separación fuera nula, sino que por lo tanto se reflejó el retiro del agua en la cima de la columna.

De acuerdo a las visitas en campo y a la información recolectada, la torre T-2756 en funcionamiento normal se mantiene entre 120°F y 125°F cuando la operación se considera demasiado estable. Bajo estas condiciones se verificó que los calculos de los modelos planteados en Hysys describen la

funcionalidad y el comportamiento real de la columna, con considerables desviaciones características del simulador (Henry Z. Kister, 2002).

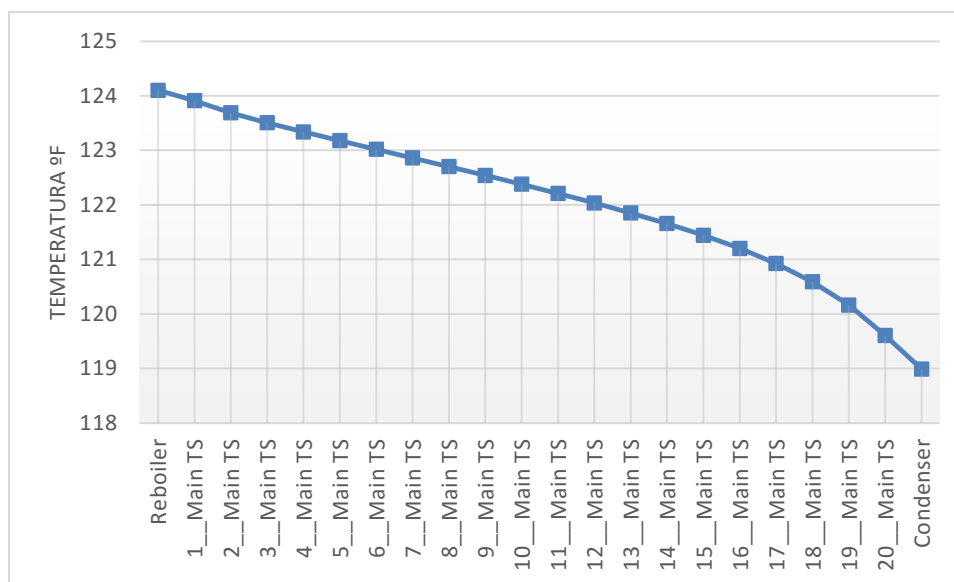


Figura 14. Perfil de temperatura para la simulación simple de la T-2756.

Durante el análisis de los planos de proceso, se tomó en cuenta que esta torre comparte el mismo tambor de cima con la columna previa que le surte la carga húmeda de PGR en UOP I. Proponiéndose que la evaluación referente a la torre T-2756, fuera equipo a equipo, para obtener datos mas precisos. Por lo tanto además de la modificación general del flowsheet para la simulación de la columna, se propuso que el ingreso de las cargas de UOP I y UOP II fueran en dicho tambor de cima, ya que esto permitiría aprovechar el sistema de separación con el cual se cuenta y consecuentemente reducir el contenido de agua ingresado a la torre.

En la figura 15 se aprecia el diagrama de flujo propuesto en Hysys con el cual se analizaron las diferentes variantes al aumentar la cantidad de PGR de UOP I como la cantidad de PGR de UOP II.

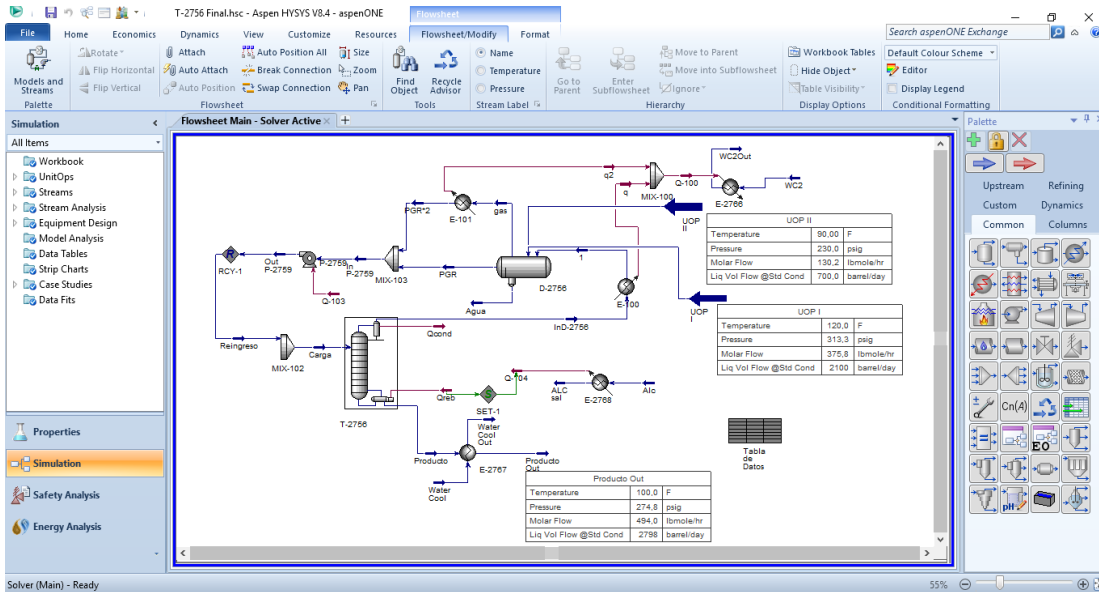


Figura 15. Simulación rigurosa equipo a equipo de la torre T-2756.

La convergencia de la torre se modificó dado que el tambor y el intercambiador de cima se analizaron de manera independiente, por lo tanto fue necesario reducir la cantidad de platos internos de la torre. Para esta ocasión se convergió la columna con el arreglo: Reboiler + 19 platos + Condensador y las mismas especificaciones de presión, donde el condensador interactúa como una etapa interna con eficiencias semejante a la de uno de los platos, de acuerdo a la tabla 13.

Considerando la rigurosidad de la simulación y partiendo de la condición de funcionamiento para esta torre a continuación se presentaran los casos puntuales observados y que deberán ser tenidos en cuenta en el trabajo operacional de la unidad.

5.1.1. Perfil de temperatura dentro de T-2756

El funcionamiento adecuado de la torre depende de un buen perfil de temperatura, debido a los flujos internos de la columna (Mahdipoor, 2006). Por

esta razón, dado que la columna recibiría, una nueva carga de PGR, surge en medio de la investigación la siguiente pregunta: ¿Qué efecto produce introducir PGR de UOP II en el interior de la columna?

Por medio de la figura 16 y la tabla 17 se describe el perfil de temperatura para diferentes corridas dependiendo de las condiciones de entrada de la carga, pero teniendo en cuenta que se ajustó un calor fijo para el reboiler y una fracción molar de propileno en el fondo de la torre, siendo similar a la carga.

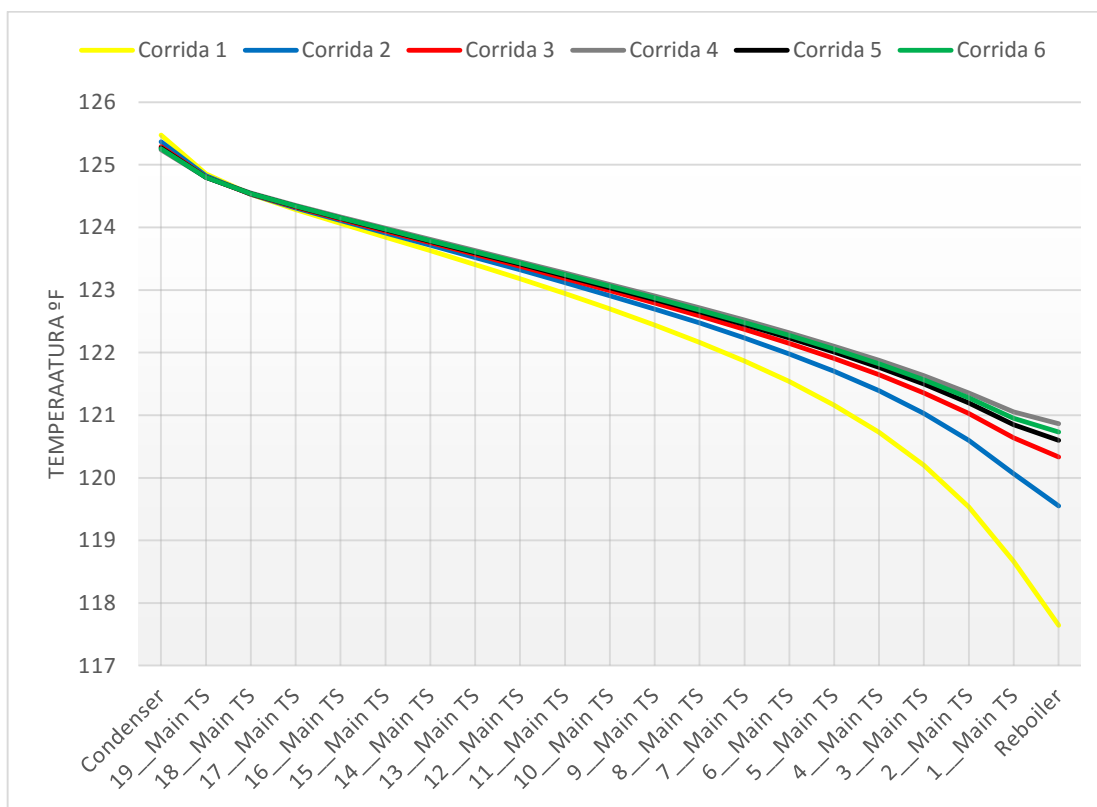


Figura 16. Perfil de temperatura dentro de la T-2756 con flujo de calor fijo en el fondo.



Tabla 17. Carga de PGR, alimentada a la T-2756.

Simulación	PGR UOP I (BPD)	PGR UOP II (BPD)
CORRIDA 1	2100	0
CORRIDA 2	2100	500
CORRIDA 3	2100	1000
CORRIDA 4	2100	1500
CORRIDA 5	2100	1200
CORRIDA 6	2100	1300

Para esta condición se ajusto el calor del reboiler en 2×10^6 Btu/h y la fracción mol en 0,69 de propileno en el producto.

El aumento de carga y del contenido de agua dentro de la torre ha modificado completamente el perfil de temperatura, siendo este un factor que se debe tener en cuenta para la puesta en marcha de la unidad.

En la tendencia de la corrida 2 ya se permite el ingreso de la carga de UOP II a la columna, lo cual generó un salto abrupto dentro de la temperatura de la torre, asumiendo que es un efecto característico al contenido de agua ingresado.

Este perfil de temperatura podra ser regulado con el flujo de ALC ingresado en el Reboiler y la cantidad de PGR seco despojado en el fondo, ya que se podrian disminuir de esta manera los deltas de temperaturas que se experimentan al tener un flujo de ALC fijo.

5.1.2. Evaluación Carga maxima

Para la evaluación completa de todos los equipos de la T-2756, se ajustaron de acuerdo al perfil de temperatura los porcentajes de recuperación para el H₂O en el cima, y el propano en el fondo (Se tomó el propano porque es un componente ligado al propileno), de esta manera se cambio la simulación de un secado ideal a uno donde se permiten concentraciones de agua a la salida del producto, de acuerdo a las variables registradas en la tabla 18.



Tabla 18. Variables consideradas dentro de la simulación para convergencia.

Variables fijas	Valor asignado
Flujo PGR UOP I (BPD)	2100
Recuperación de Agua en la cima (InD-2756)	0,7800
Recuperación de Propano en fondo (Producto)	0,8220
Variable asignada	Rango
Flujo PGR UOP II (BPD)	0-4000

Como consecuencia de las simulaciones se analizó la cantidad de flujo descargado por parte de la bomba P-2759 con las condiciones de diseño del Anexo B. Se tuvo en cuenta que esta bomba deriva parte del flujo hacia la torre depropanizadora previa a la T-2756 y que el consumo máximo considerado es de 150 USGPM de reciclo a dicha torre, de esta manera la figura 17 contiene los 150 USGPM adicionando la cantidad de carga ingresada a la T-2756 vs la suma de los flujos de PGR para UOP I y UOP II.

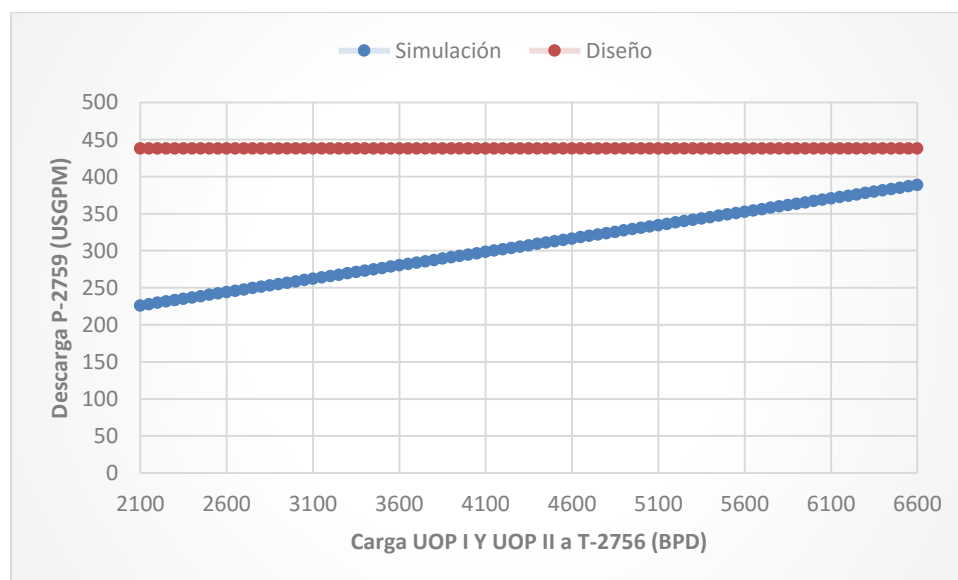


Figura 17. Flujo bomba de reciclo de carga a la T-2756.

Se puede evidenciar en la figura 17 un aumento característico por debajo del criterio de diseño, debido al aumento de carga dentro de la unidad, al igual que el contenido de agua aproximado drenado en la bota del tambor de cima D-2756 de acuerdo a la figura 18.

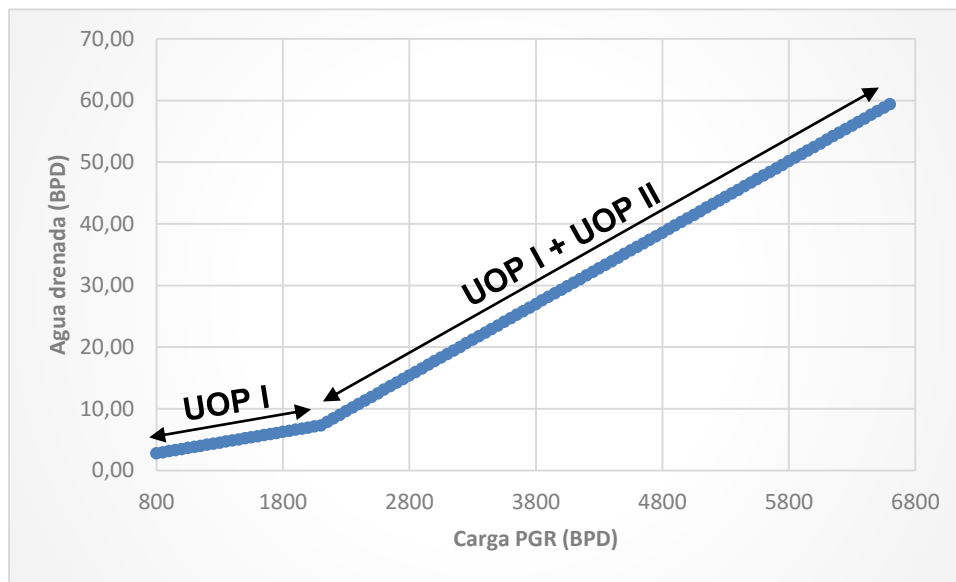


Figura 17. Cantidad de agua drenada en el D-2756 vs Carga de PGR.

Este aumento de la cantidad agua además de generar efectos como los descritos en la sección 5.1.1., también implica unas nuevas condiciones de manejo y trabajo para la columna, es decir, va a ser necesario drenar la bota del tambor D-2756 con mayor frecuencia que la que se maneja en un funcionamiento normal; dado que se evidencia el aumento en la pendiente de acuerdo al contenido de que debe ser necesario retirar.

Por otro lado se identificaron los flujos de ALC necesarios para mantener la temperatura del fondo de la torre y se verificó con el rango promedio de ALC extraído de PI de acuerdo al funcionamiento de la T-2756.

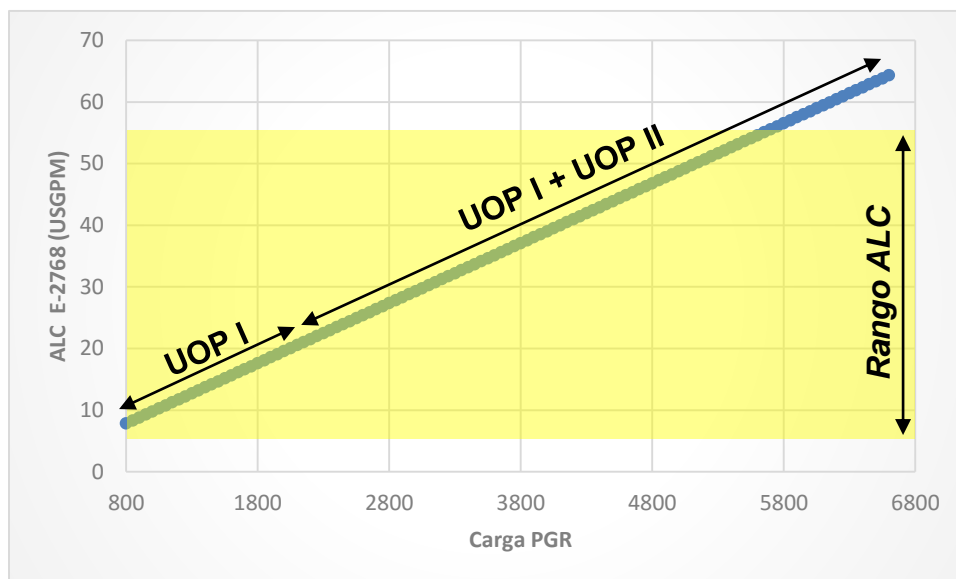


Figura 18. ALC al rehervidor de la T-2756.

En consecuencia al análisis hecho en las figuras anteriores se muestra la confiabilidad por parte de la simulación al igual que algunos de los parametros operacionales que se deben tener en cuenta en caso de la puesta en marcha para el escenario 1.

Se identificó por medio de los datos del Anexo A, que el intercambiador E-2767 sale de especificaciones en el rango de 1000 a 1800 barriles de PGR por día para UOP II, y luego el E-2768 sale de especificación para 2150 barriles por día de PGR para UOP II, manteniendo la carga fija estipulada para UOP I. Los datos del anexo referente a la carga maxima fueron graficados en las figuras 19, 20 y 21.

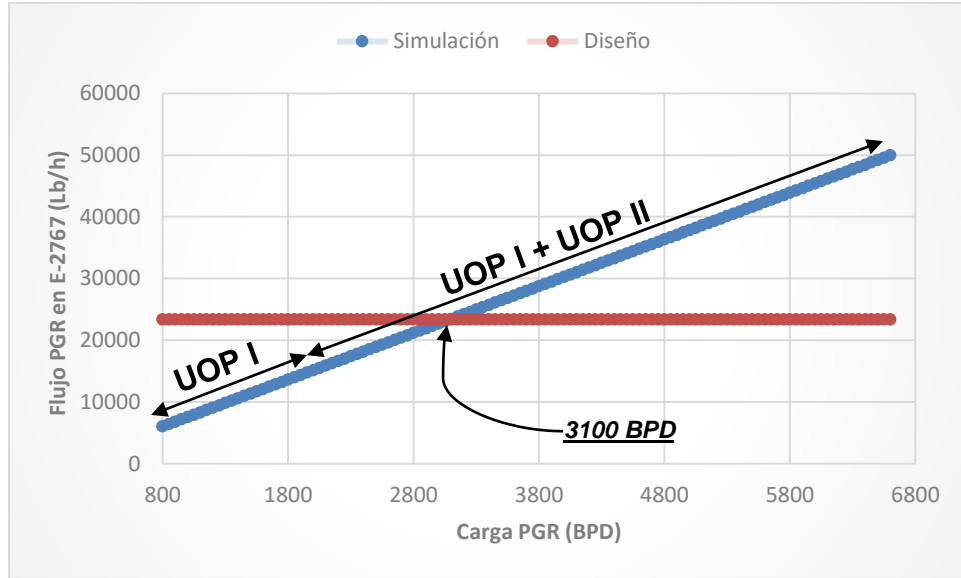


Figura 19. Flujo de PGR por la carcasa del E-2767 vs Carga

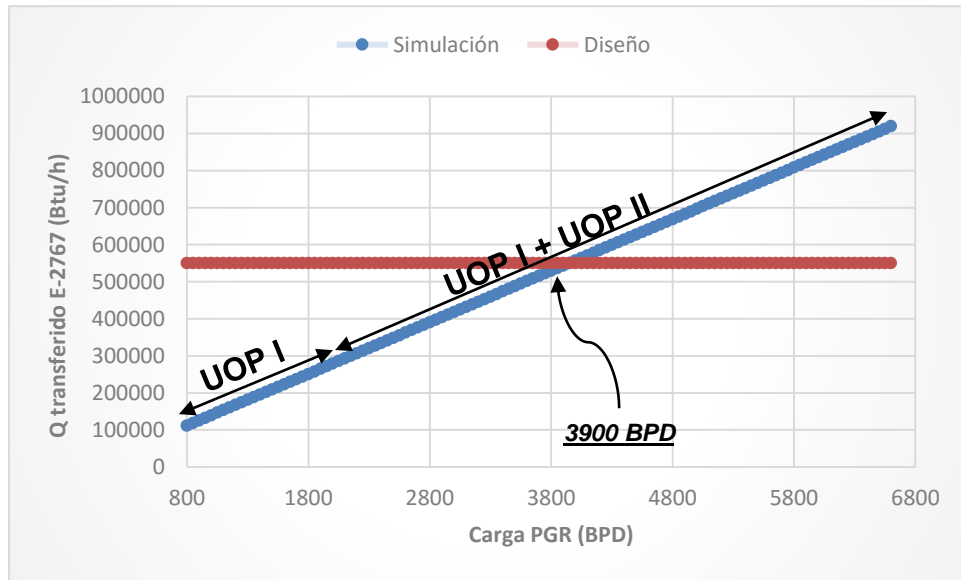


Figura 20. Calor transferido en E-2767 vs Carga

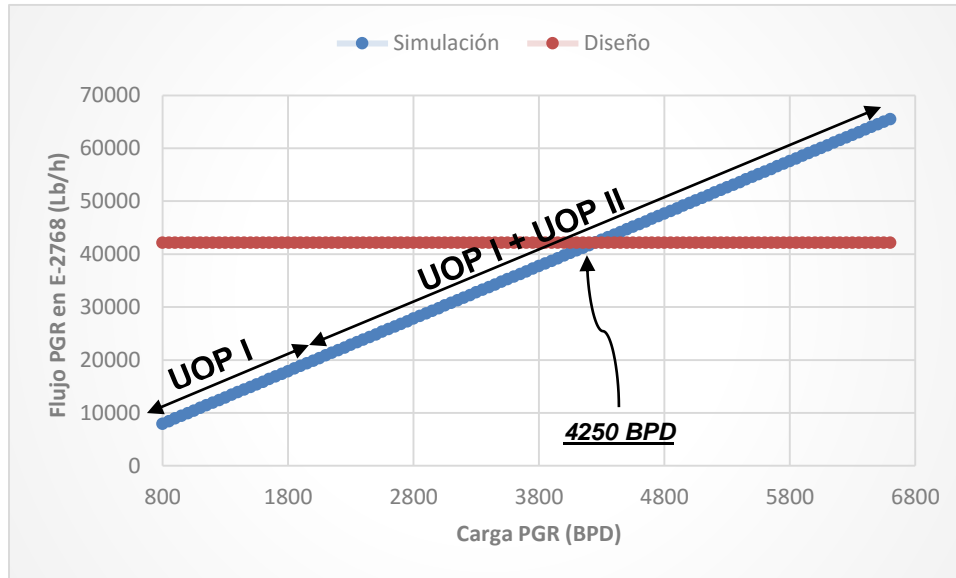


Figura 21. Flujo de PGR en rehervidor E-2768 para la Columna de secado.

Conociendo la operacionalidad de la torre (figura 14 y figura 17) se asume que la carga máxima para tratar dentro de esta columna puede estar alrededor de los 1000 barriles por día, teniendo en cuenta que no siempre UOP I se encontrará en producción máxima y que las afectaciones por parte de la carga de PGR de UOP II son considerablemente notables. Como la limitante está en el flujo del PGR producto en los intercambiadores y la transferencia de calor que se ofrece; el considerar valores por encima de 3100 BPD de carga (UOP I + UOP II) estaría forzando el sistema en general.

No obstante se presentan las condiciones finales de funcionamiento de la torre para el flujo de carga máxima en la tabla 19. Verificando que la columna se mantendría en control tanto a niveles de líquido, como a las temperaturas adecuadas para el secado del producto. Apoyando de esta manera la idea de desviar parte del PGR producto de UOP II a la torre T-2756.



Tabla 19. Simulación final para el escenario 1.

Variable	UOP I	UOP II	Producto Out	Agua
Temperatura (°F)	120,00	90,00	100,00	106,43
Presión (psig)	313,30	230,00	274,80	230,00
Flujo estándar (BPD)	2100,00	1000,00	3097,89	18,88
Composición (frac. Mol) *				
Propano	0,28537	0,28147	0,29210	0,00000
Propileno	0,69102	0,66429	0,70151	0,00000
H2O	0,01623	0,05125	0,00030	1,00000
% máximo de Inundación	33,70			
Temperatura cima (°F)	120,77			
Temperatura Fondo (°F)	124,20			

*En esta tabla solo se registran la composición para los tres sustancias claves dentro del estudio, pero las simulaciones fueron corridas con los porcentajes indicados en la metodología.

5.2. ESCENARIO 2: SIMULACIÓN DE LAS TORRE T-560, T-561, T-563.

Al igual que para la evaluación del primer escenario, se cargo el listado de componentes y se eligio el mismo paquete termodinamico, dado que la composición se mantiene fija (Figura 12).

Se tuvo en cuenta que el estudio de estas columnas fue revisado con anterioridad (Ferreira, 2012) y en el cual se llegó a la conclusión de los flujos maximos requeridos para rectificar la corriente con un alimento libre de agua y un producto con aproximadamente 92% de propileno.

En el trabajo realizado por Ferreira se evidencia que debido a la cantidad del numero de platos por parte de las columnas solo se podrian tratar 800 barriles por día aproximadamente de un PGR seco. Describiendo la situación del estudio previo en la figura 22.

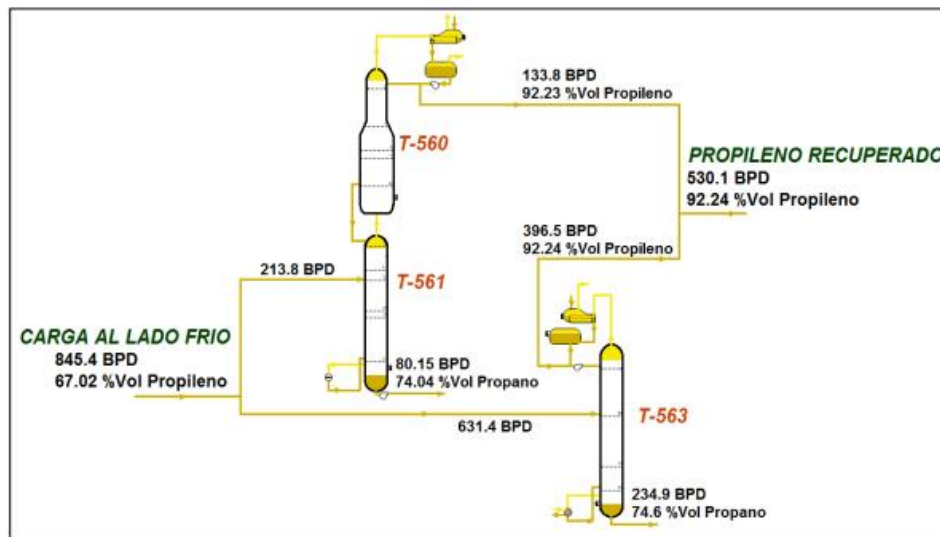


Figura 22. Conclusión para rectificar PGR seco de UOP II.
Fuente: (Ferreira, 2012)

Las relaciones de reflujo dentro de las columnas en el presente estudio, se disminuyeron al igual que las presiones de trabajo, considerando un arreglo de acuerdo a los parametros de diseño que promoviera mayor separación, y permitiera un mayor ingreso de carga, soportado bajo las consideraciones de la Tabla 13.

Con el fin de evaluar integralmente la corriente de PGR para UOP II, se establecio el siguiente arreglo:

Tabla 20. Arreglo de torres propuesto para determinar carga maxima de PGR.

Variable	T-560	T-561	T-563*
Presión Cima	227	236,8	228,97
Presión Fondo	229,4	240	237
Función	Secadora	Rectificadora 1	Rectificadora 2
Ubicación secuencial	TERCERO	PRIMERO	SEGUNDO

*El uso de la T-560 como secadora implicaria tener un tambor de cima que cumpla la función de separar el contenido de agua concentrado en el destilado.

La figura 23 muestra la configuración bajo la cual se verificó la cantidad de carga máxima que hidráulicamente puede manejar cada una de las columnas en la simulación para rectificar y secar el PGR.

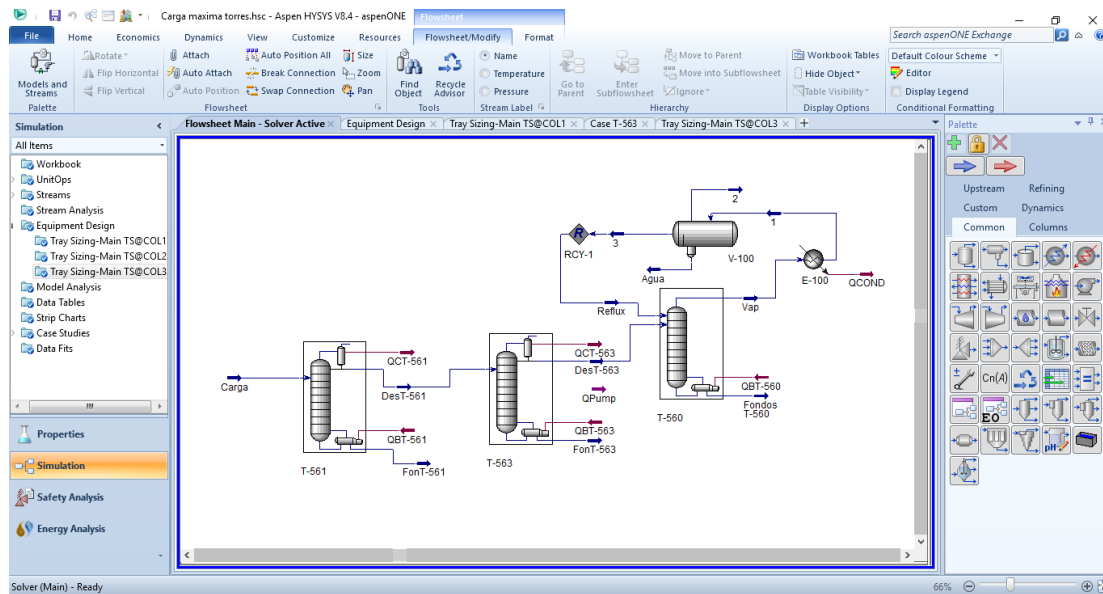


Figura 23. Simulación arreglo Rectificación- Secado.

Dado que se buscó adicional al secado, aumentar la calidad del PGR; en la figura 23 se puede evidenciar que el destilado de una columna ingresa a la siguiente hasta llegar al producto seco obtenido en los fondos de la T-560. La proporcionalidad del flujo de carga y la relación de reflujo en cada columna es inverso, ya que ambos determinan el nivel de líquido dentro de las columnas, es por eso que a espensas de aumentar la carga se tomó reflujo bajos y se compensó la separación con una buena regulación de temperatura en el fondo de cada columna, generando el vapor necesario para concentrar el propileno en la cima.

Mediante la herramienta Case Study, se analizó el comportamiento de la composición del destilado versus la temperatura del fondo de cada columna.

Por medio de la figura 24 se muestra un grafico representativo provisto por HYSYS para la T-561 con una relación de reflujo de 10.

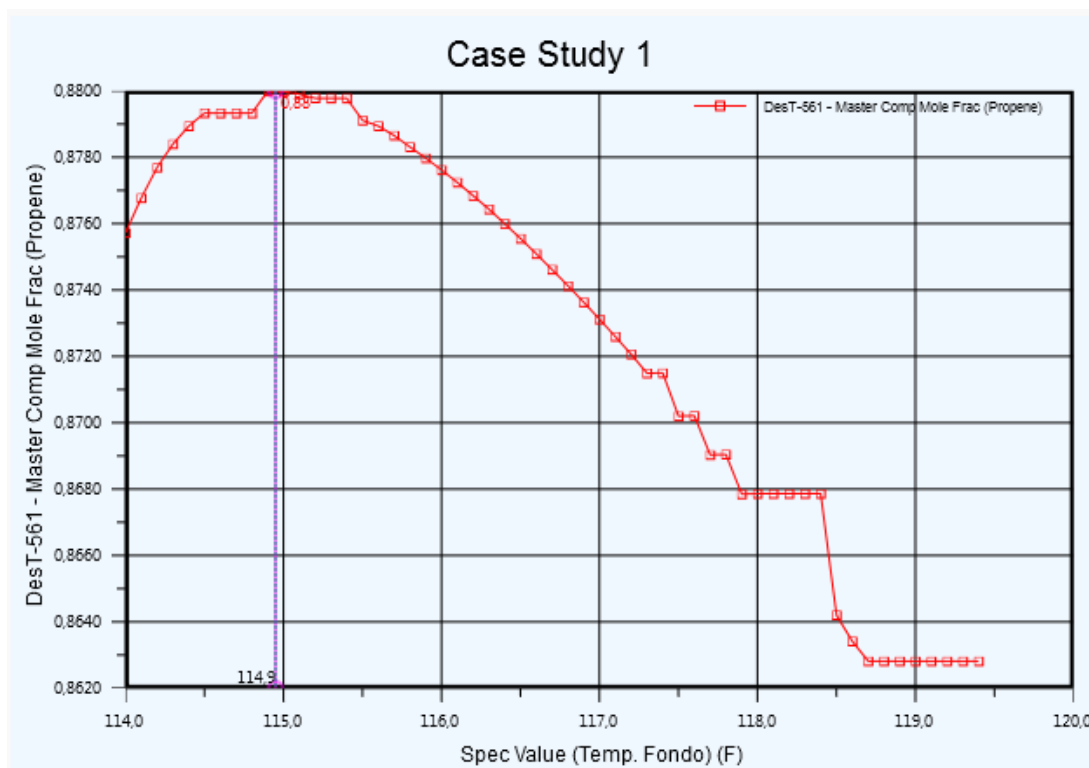


Figura 24. Determinación de la temperatura adecuada de fondo para T-561.

Se puede evidenciar un aspecto parabolico por parte de la curva generada, lo cual indica que a la temperatura de 114,9 °F se alcanza una composición de propileno de 0,88. Este estudio se llevo consecutivamente con la T-563 y se realizó reiteradas veces hasta encontrar una relación de reflujo y una temperatura adecuada para una carga de PGR superior a los 800 barriles/dia.

En este sentido se determinó en la tabla 21 la cantidad maxima de PGR que el conjunto de estas tres torres puede recibir, para funcionar bajo el arreglo establecido. Considerando que seria necesario un tambor separador de agua en la cima de la T-560 para que pueda cumplir su función como torre secadora.

Tabla 21. Carga maxima calculada para rectificar y secar

Variable		Unidad	Valor T-561	Valor T-563	Valor T-560
Máxima Carga		(BPD)	1500,00		
Destilado	Temperatura	(°F)	109,29	105,98	102,70 *
	Presión	(psig)	236,80	228,90	227,00 *
	Flujo	(BPD)	855,12	738,87	17,42 *
	Propano	Frac. Mol	0,16	0,08	0,00 *
	Propileno	Frac. Mol	0,76	0,82	0,00 *
	H2O	Frac. Mol	0,09	0,10	1,00 *
Fondos	Temperatura	(°F)	114,90	116,70	106,54
	Presión	(psig)	240,00	237,00	229,36
	Flujo (BPD)	(BPD)	645,39	116,45	736,65
	Propano	Frac. Mol	0,47	0,68	0,09
	Propileno	Frac. Mol	0,52	0,32	0,91
	H2O	Frac. Mol	0,00	0,00	0,00
Máxima inundación	(%)	Plato 13-79%	Plato 77-56,3%	Plato 77-45%	
Calor Condensador	Btu/hr	5,942E+06	4,692E+06	2,290E+06	
Calor Rehervidor	Btu/hr	6,159E+06	4,690E+06	2,162E+06	
Relación de Reflujo	----	5,2000	4,5000	----	

*Datos de la corriente de agua despojada por el tambor de cima asignado a la T-560.

Se evidencia que para el arreglo establecido, el PGR producto es rico en propileno en un 90%; destinando de los 1500 BPD de carga unos 736 BPD como producto generado para la empresa.

El funcionamiento de las torres T-561 y T-563 fortalecen la recuperación de propileno, manteniendo relaciones de reflujo bajos y temperaturas de fondos facilmente acequibles de controlar con un fluido. Con todo esto, se identifica tambien que el funcionamiento de la T-563, al recibir una alimentación tratada, es mucho mas eficiente, ya que la separación plato a plato es menor con relación en el caso que esta funcionara de manera independiente y con carga propia.



En la realidad se tiene presente que estas torres no han funcionando tratando PGR, pero se asume que los rendimientos calculados por hysys al igual que la cantidad de carga maxima serian muy aproximados.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las consideraciones establecidas en la tabla 13 fueron acertadas, ya que permitieron simular ambos procesos, tanto el secado, como la rectificaci3n de la corriente a condiciones adecuadas para determinar el flujo maximo recibido.

5.3. ESCENARIO 3: TAMBORES ADSORBENTES/ COALESCENTES.

A partir de las condiciones para el PGR descrito en la tabla 10, se inici3 la busqueda de equipos, mediante visitas en planta a varias unidades, donde se identificaron varios equipos fuera de servicios y se revisaron las condiciones a las cuales funcionan los adsorbedores y los coalescedores activos dentro de cada unidad.

Los equipos evaluados se describen en la siguiente tabla:

Tabla 22. Equipos evaluados para sistema de secado.

EQUIPOS PARA PGR							
Equipos	Ubicaci3n	Presi3n (psig)		Temperatura (°F)		En uso	
		Diseño	Operaci3n	Diseño	Operaci3n	Si	No
X-550 A/B	Orthoflow	330	300	650	100	X	
R-552 A/B/C	Orthoflow	550	500	650	600		X
D-2762 A/B/C/D	Cracking I	550	480	475	100	X	
D-4568	Alquilaci3n	240	102	170	57	X	
D-571	Orthoflow	260	230	-30	-30		X
D-572	Orthoflow	83	53	-98	-98		X
D-578	Orthoflow	155	125	150	100		X
D-586	Orthoflow	50	5	150	-45		X

*Los equipos en funcionamiento se incluyeron solo para conocer condiciones operacionales a tener en cuenta.

Dentro de la anterior tabla se identificó que uno de los equipos cumple las especificaciones de temperatura y presión. Posteriormente se reconoció que dicho equipo no presenta una bota de drenaje de agua por lo tanto esto descarta la aplicación de un sistema de coalescencia con la estructura actual.

Se examinó el historial de trabajo de estos tambores y el tiempo del deterioro por parte de la falta de funcionamiento en el proceso.

Los R-552 A/B/C son 3 tambores que han trabajado siendo secadores de lecho adsorbente y que son regenerados por una corriente de aire caliente (400 °F) y baja presión. Por lo tanto se recomienda el uso de estos tres tambores con un lecho empacado de tamices moleculares (adquiridos por la empresa), ya que debido a la alta eficiencia por parte de los tamices se estarían obteniendo un PGR aproximadamente seco, disminuyendo así los efectos generados por la humedad en el producto.

Cada tambor es de 232,4 m³, y manejaría un volumen de tamices moleculares estandarizados alrededor de los 20 m³, siendo suficiente para poder tratar toda la carga de PGR surtida por UOP II. Dado al número de tambores se propone un circuito en el que los tres se encuentren en funcionamiento, es decir, 2 secando y uno regenerando.

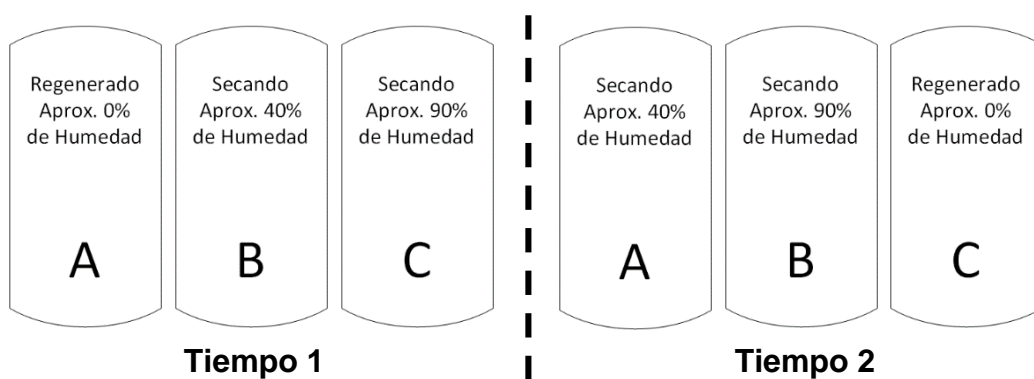


Figura 25. Configuración de los R-552 A/B/C.



El arreglo de la figura 25 indica que siempre debe estar uno de los 3 tambores regenerado y disponible para una vez que se alcance la saturación del lecho con mayor humedad. Se debera tener en cuenta que para poder poner en funcionamiento este sistema, seria necesario realizar inspección mecánica a los tres tambores con el fin de suplir las condiciones de deterioro en la que se encuentran y reemplazar las conexiones que esten fuera de una especificación segura.

5.4. MÉTODO ELECTRE: Decisión multicriterio

Los resultados de los escenarios en las secciones 5.1, 5.2 y 5.3, muestran las consideraciones finales en la evaluación individual de cada uno de ellos. Debido a esto con el proposito de conocer la jerarquia mediante la cual los escenarios deberian ser aplicados, se utilizo el metodo electre estableciendo cuatro criterios a consideración del estudio.

Tabla 23. Criterios asumidos en el estudio para evaluar escenarios.

Criterios	Descripción	W
C1	Capacidad de Tratamiento	5
C2	Complejidad en ingeniería	2
C3	Impedimentos del proceso	3
C4	Calidad del producto final	4

*W= hace referencia al valor o peso que se le asigna este criterio de 1 a 5, siendo 5 el valor de elevada importancia.

Con los criterios asignados en la tabla 23, se creó la matriz asignando valores de 1 a 5 que según el analisis hecho en cada uno de los escenarios es el mas característico para describirlo.

Tabla 24. Matriz de calificación de escenarios.

Alternativas	C1	C2	C3	C4
E1	2	4	5	3
E2	3	3	3	5
E3	5	4	4	3
W	5	2	3	4

Con los datos de la tabla 24 y las ecuaciones planteadas en la sección 4.5 se determinó las matrices de concordancia y discordancia, para poder identificar de esta manera que escenario es mejor o peor con respecto a los otros escenarios.

Tabla 25. Matriz de concordancia.

$C_{h,k}$	E1	E2	E3
E1	-	0,357	0,643
E2	0,643	-	0,286
E3	0,786	0,714	-

*Los valores son leídos de modo fila \rightarrow Columna es decir que $C_{E1/E2} = 0,0357$.

Tabla 26. Matriz de discordancia.

$D_{h,k}$	E1	E2	E3
E1	-	0,667	1,000
E2	0,667	-	0,667
E3	0,333	0,667	-

*Los valores son leídos de modo fila \rightarrow Columna es decir que $D_{E1/E3} = 1,000$.

Se calculan los umbrales de comparación para la concordancia (p) y para la discordancia (q) con el valor de la media de los datos de cada matriz.

$$p = 0,571$$

$$q = 0,667$$

Con los valores de p y q , se clasifican los escenarios por dominancia por fila y dominancia por columna; siendo la primera, la frecuencia con la que una alternativa domina a las restantes y la segunda, la frecuencia con la que la alternativa es dominada por las demas.

Tabla 27. Dominancia por fila y columna para los escenarios.

Escenarios	Dominancia por fila	Dominancia por columna	Diferencia
E1	Ninguna	E2 y E3	-2
E2	E1	E3	0
E3	E1 y E2	Ninguna	2

Tabla 28. Jerarquía determinada para la aplicación de los escenarios.

Jerarquía	Escenarios
Primero	E3
Segundo	E2
Tercero	E1

La tabla 28 nos indica que el escenario 3 sería el más viable, dado que permite un manejo completo de la carga e involucrará menor cantidad de impedimentos en el proceso dentro de su funcionamiento. En jerarquía le seguiría el escenario dos con una capacidad máxima de carga de 1500 BPD y con un aporte general en la calidad del producto obtenido. Todo esto no indica que el escenario 1 sea una alternativa a desechar, ya que se debe tener en cuenta que el valor de carga máxima es aproximado porque no es la columna la que no soporta cargas superiores a 1000 BPD, sino el sobre esfuerzo por parte de los equipos anexos.

Nota: El análisis hecho durante todo el estudio se basó en los conocimientos adquiridos en la práctica y el aporte por parte de los ingenieros de proceso u operadores de las plantas visitadas.



6. CONCLUSIONES

El modelo de simulación propuesto para los escenarios 1 y 2 es un modelo confiable, ya que describe de manera adecuada el funcionamiento real de la T-2756 y bajo el mismo método riguroso genera resultados para las T-560, T-561 y T-563.

El desvío del PGR a la torre T-2756 en funcionamiento actual, sería una alternativa viable para el manejo de aproximadamente 1000 BPD sin impedimentos de proceso y manteniendo la integridad de la columna y sus equipos anexos al secado.

El efecto del agua dentro de las columnas de destilación es considerable y puede ser controlado operacionalmente manteniendo las temperaturas fijas en los fondos.

La disminución del reflujo para las T-560, T-561 y T-563 a expensas de un control adecuado en el fondo de cada columna, permite mucho mayor ingreso de carga a las columnas del tren para rectificación y su posterior secado de acuerdo a las consideraciones tenidas en cuenta y la calidad del producto obtenido.

Los parámetros de diseño para un equipo están ligados directamente a las condiciones de proceso de la corriente con la cual se vincula, es por eso, que la inclusión del sistema de secado por lechos adsorbentes sería la opción más viable, dada la capacidad y el manejo de presiones y temperaturas.

La rectificación de las T-561 y T-563 refleja muy bien la incidencia referente al número de platos y las dimensiones internas bajo la cual se tienen actualmente, obteniendo un producto luego del secado en 90% para el propileno.



El metodo electre dirige eficientemente a la toma de decisiones adecuadas de acuerdo al peso de cada uno de los criterios y la calificación que poseen las alternativas al ser evaluadas bajo dicho estandar.

A nivel de proceso existe la factibilidad de implementación de las alternativas de acuerdo al analisis por jerarquia, cumpliendo en primer grado el secado de la corriente de PGR para UOP II.





7. BIBLIOGRAFÍA

- (UTN), U. T. N. (2015). CRAQUEO CATALITICO. *Catedra de Procesos Industriales*. Retrieved 01/09/2015, from <http://www.modeloingenieria.edu.ar/mei/repositorio/catedras/pii/CRAQUEOCATALITICO.pdf>
- Amparo Gómez Siurana, A. F. E., M^a José Blanes Payá. 3.3. Selección de la presión de operación y del tipo de condensador. *Métodos aproximados para el cálculo de operaciones de separación multicomponente*. Retrieved 16/09/2015, from http://iq.ua.es/MetAprox/33_seleccin_de_la_presin_de_operacin_y_del_tipo_de_condensador.html
- Angel M. Gento, R. G., Alberto Toribio WINELECTRE: Ayuda a la decisión mediante los métodos ELECTRE. Retrieved 15/10/2015, from www.uv.es/asepuma/recta/extraordinarios/Vol_01/09t.pdf
- Ashford, D. F. E. (2010). Análisis del Proceso de Ampollas de Hidrógeno en una Unidad de Fraccionamiento del LGN. Retrieved November 1, 2010 at 8:48 pm, from <http://www.jmcampbell.com/tip-of-the-month/spanish/?p=799>
- AZARPOOR AZARNOOSH, J. J. M. (1959). Solubility of Propylene in Water *JOURNAL OF CHEMICAL AND ENGINEERING DATA*, 4(3), 211-212.
- BestChem. TAMIZ MOLECULAR DISECANTE PARA DVH. *Absorbente de Humedad*. Retrieved 5/10/2015, from http://www.bestchem.com.ar/archivos/rZ68W9Sd20p390xU/PDF_TAMIZ%20MOLECULAR.pdf
- Burdick, D. L., & Leffler, W. L. (2010). *Petrochemicals in Nontechnical Language*: PennWell Corporation.
- Chempack. Tamiz Molecular. *Productor de Catalizador, Purificador y Absorbente en China*. Retrieved 5/10/2015, from <http://www.petro-catalyst.es/3-1-molecular-sieve.html>
- Ecopetrol. (2013). *Muestreo de PGR en unidades de craqueo catalitico*. Ecopetrol.
- Ecopetrol. (2015). Ecopetrol presenta nuevo plan estratégico y reduce meta de producción a 2020. Retrieved 2015-05-26 09:45:35, from <http://www.dataifx.com/noticias/acciones-colombia/articulo-22103-ecopetrol-presenta-nuevo-plan-estrategico-y-reduce-meta-de-produccion-a-2020>



- Enrique Arce Medina, I. P. F. A. (2013). Comparación de rutas de reacción para seleccionar la más segura con el método ELECTRE. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 1, 14.
- Ferreira, A. M. (2012). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE PURIFICACIÓN DE PROPILENO EN EL LADO FRIO DE LA UNIDAD ORTHOFLOW EN LA REFINERIA DE BARRANCABERMEJA*. (Ingeniero Químico Practica Industrial), UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER (UIS), BUCARAMANGA. Retrieved from <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6865/2/144173.pdf> (1)
- Henry Z. Kister, F. D. (2002). CAN WE BELIEVE THE SIMULATION RESULTS? *Reactions and Separations*. Retrieved 16/11/2015, from <http://people.clarkson.edu/~wwilcox/Design/distmodl.pdf>
- Hysys, A. (2015). Aspen Hysys On-Line Help. *Column setup and property views*.
- JOHNSON, Q. Deshidratadoras con Tamices Moleculares. *Filtros separadores*. Retrieved 5/10/2015, from <http://qbjohnson.com/productos/deshidratadoras-con-tamices-moleculares/>
- Koch-Glitsch, L., Wichita, Kansas, R. CusaCk. (June 2009). Rethink your liquid-liquid separations. *HYDROCARBON PROCESSING*, 53-60.
- KUNITOMO ISHII', S. H., TAKAHIKO SHIRAI', KIYOHARU ISHIDA' (1966). Liquid Equilibrium Data for the System Propane, Propylene, and Ammonia Solvents *JOURNAL OF CHEMICAL AND ENGINEERING DATA*, 11(3), 288-293. doi: 10.1021/je60030a002
- LEC, C. P. C. C. Propylene Refinery Grade (P-P mix). from <http://www.cpchem.com/bl/olefins/en-us/Pages/PropyleneRefineryGradePPmix.aspx>
- Leffler, W. L. (2008). *Petroleum Refining in Nontechnical Language*: PennWell.
- Mahdipoor, H. R. (2006). Effect of Liquid Flow Regimes on Dynamic Simulation of Tray Columns. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45(14), 5172-5178. doi: 10.1021/ie050890x
- MALONEY, J. O. (2008). REACTION KINETICSPERRY'S CHEMICAL ENGINEERS HANDBOOK (Vol. 8, pp. 7-9, 7-10).
- McKETTA, C. C. L. a. J. J. (1963). Vapor-liquid Equilibrium in the Propylene-Water System. *JOURNAL OF CHEMICAL AND ENGINEERING DATA*, 8(2), 271-275.



- Rafael Álvarez, L. L., Juan Vargas, Aura López de Ramos. (2009). ESTUDIO DE LA COALESCENCIA DE BURBUJAS EN SISTEMAS ELECTROLÍTICOS. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 7.
- Rosario, U. F. R. (2008). Propiedades Termodinámicas de Equilibrio. Determinación de estado de equilibrio de fases. . *Cátedra: Integración IV – Año 2008*. Retrieved 10/08/2015, from http://www.modeloingenieria.edu.ar/mei/repositorio/catedras/intlV/apuntes/apunte_prop_terminamicas.pdf
- SilicaGel. Venta de Malla Molecular. Retrieved 5/10/2015, from http://www.silicagel.com.mx/venta_de_malla_molecular.aspx
- UNITECNO. Equipos de filtración.
- Warren L. McCabe, J. C. S., Peter Harriot. (2007). Destilación. In M.-H. Interamericana (Ed.), *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química* (7 ed., pp. 695-769).

ANEXOS

ANEXO A. Case study determinación de carga maxima.

UOP I BPD	UOP II BPD	P-2759 USGPM	E-2768			P- 2705 USGPM	E-2767			Agua Bota BPD
			ALC lb/h	C3= lb/h	Qtransfe r btu/h		Agua	C3= lb/h	Qtransf er btu/h	
2100	900	108,49	13877,63	29794,88	852438,66	29,30	40669,38	22710,79	418143,50	17,72
2100	950	110,30	14106,97	30290,70	866526,28	29,78	41346,62	23089,06	425106,60	18,30
2100	1000	112,11	14338,21	30787,29	880729,73	30,27	42024,06	23467,48	432071,64	18,88
2100	1050	113,91	14567,60	31283,13	894820,35	30,76	42701,29	23845,76	439034,66	19,46
2100	1100	115,72	14798,80	31779,71	909022,09	31,25	43378,71	24224,18	445999,54	20,04
2100	1150	117,53	15028,24	32275,56	923115,45	31,73	44055,94	24602,46	452962,48	20,62
2100	1200	119,33	15259,42	32772,13	937315,62	32,22	44733,34	24980,88	459927,22	21,20
2100	1250	121,14	15488,90	33268,00	951411,51	32,70	45410,56	25359,16	466890,08	21,78
2100	1300	122,95	15720,05	33764,56	965610,19	33,19	46087,95	25737,58	473854,70	22,36
2100	1350	124,76	15949,57	34260,45	979708,41	33,67	46765,17	26115,86	480817,49	22,94
2100	1400	126,56	16180,70	34757,00	993905,72	34,16	47442,54	26494,28	487781,99	23,51
2100	1450	128,37	16411,79	35253,47	1008100,73	34,65	48119,82	26872,63	494745,41	24,09
2100	1500	130,18	16640,68	35749,11	1022160,01	35,13	48796,99	27250,88	501707,72	24,67
2100	1550	131,98	16871,80	36245,69	1036356,74	35,62	49474,40	27629,33	508672,62	25,25
2100	1600	133,79	17102,87	36742,15	1050550,09	36,11	50151,67	28007,68	515635,96	25,83
2100	1650	135,60	17331,74	37237,80	1064608,64	36,59	50828,83	28385,94	522598,22	26,41
2100	1700	137,41	17562,83	37734,36	1078803,48	37,08	51506,23	28764,38	529562,92	26,99
2100	1750	139,21	17793,87	38230,82	1092995,17	37,57	52183,49	29142,73	536526,16	27,57
2100	1800	141,02	18022,81	38726,49	1107058,14	38,05	52860,65	29521,00	543488,37	28,15
2100	1850	142,83	18253,88	39223,04	1121251,31	38,54	53538,03	29899,43	550452,93	28,73

2100	1900	144,63	18484,89	39719,49	1135441,48	39,03	54215,28	30277,78	557416,09	29,31
2100	1950	146,44	18713,91	40215,19	1149508,79	39,51	54892,43	30656,05	564378,26	29,89
2100	2000	148,25	18944,94	40711,73	1163700,43	40,00	55569,81	31034,48	571342,68	30,46
2100	2050	150,05	19175,94	41208,17	1177889,19	40,49	56247,05	31412,84	578305,76	31,04
2100	2100	151,86	19406,93	41704,61	1192077,85	40,97	56924,28	31791,19	585268,78	31,62
2100	2150	153,67	19635,45	42200,13	1206115,26	41,46	57601,40	32169,43	592230,59	32,20
2100	2200	155,48	19866,48	42696,69	1220306,16	41,94	58278,80	32547,88	599195,32	32,78
2100	2250	157,28	20097,45	43193,12	1234493,32	42,43	58956,04	32926,24	606158,34	33,36
2100	2300	159,09	20328,41	43689,55	1248680,35	42,92	59633,27	33304,59	613121,28	33,94
2100	2350	160,90	20556,97	44185,08	1262719,65	43,40	60310,38	33682,84	620083,07	34,52
2100	2400	162,71	20787,97	44681,63	1276908,74	43,89	60987,77	34061,29	627047,62	35,10
2100	2450	164,51	21018,91	45178,05	1291094,35	44,38	61665,00	34439,64	634010,56	35,68
2100	2500	166,32	21249,85	45674,47	1305279,83	44,87	62342,22	34818,00	640973,43	36,26
2100	2550	168,13	21478,50	46170,04	1319325,05	45,35	63019,33	35196,25	647935,21	36,84
2100	2600	169,93	21709,47	46666,57	1333512,56	45,84	63696,70	35574,69	654899,61	37,41
2100	2650	171,74	21940,39	47162,99	1347696,76	46,32	64373,92	35953,05	661862,48	37,99
2100	2700	173,55	22171,31	47659,40	1361880,85	46,81	65051,14	36331,40	668825,30	38,57
2100	2750	175,35	22402,22	48155,81	1376064,94	47,30	65728,35	36709,75	675788,09	39,15
2100	2800	177,16	22630,50	48651,25	1390086,89	47,78	66405,44	37087,99	682749,57	39,73
2100	2850	178,97	22861,46	49147,79	1404273,56	48,27	67082,83	37466,45	689714,22	40,31
2100	2900	180,78	23092,35	49644,20	1418456,26	48,76	67760,05	37844,81	696677,04	40,89
2100	2950	182,58	23323,24	50140,60	1432638,81	49,24	68437,26	38223,16	703639,79	41,47
2100	3000	184,39	23554,13	50637,01	1446821,36	49,73	69114,47	38601,51	710602,53	42,05
2100	3050	186,20	23782,47	51132,47	1460847,19	50,21	69791,55	38979,76	717564,02	42,63
2100	3100	188,00	24013,40	51629,00	1475032,16	50,70	70468,93	39358,21	724528,49	43,21
2100	3150	189,81	24244,27	52125,40	1489213,42	51,19	71146,14	39736,57	731491,25	43,79

2100	3200	191,62	24475,14	52621,79	1503394,55	51,68	71823,34	40114,92	738453,94	44,36
2100	3250	193,42	24706,00	53118,19	1517575,68	52,16	72500,55	40493,27	745416,62	44,94
2100	3300	195,23	24936,87	53614,59	1531756,82	52,65	73177,75	40871,62	752379,30	45,52
2100	3350	197,04	25164,91	54109,94	1545764,02	53,13	73854,81	41249,85	759340,54	46,10
2100	3400	198,85	25395,82	54606,48	1559948,07	53,62	74532,21	41628,32	766305,20	46,68
2100	3450	200,65	25626,67	55102,87	1574127,88	54,11	75209,41	42006,68	773267,91	47,26
2100	3500	202,46	25857,51	55599,26	1588307,52	54,59	75886,61	42385,03	780230,55	47,84
2100	3550	204,27	26088,36	56095,65	1602487,16	55,08	76563,81	42763,38	787193,18	48,42
2100	3600	206,07	26319,20	56592,03	1616666,80	55,57	77241,01	43141,73	794155,80	49,00
2100	3650	207,88	26547,33	57087,42	1630679,71	56,05	77918,07	43519,97	801117,09	49,58
2100	3700	209,69	26778,22	57583,94	1644862,09	56,54	78595,45	43898,43	808081,56	50,16

UOP I BPD	UOP II BPD	E-2766			D-2756	Temperatura Cima	Temperatura Fondo
		Agua Enfriamiento	C3= lb/h	Qtransfer btu/h	Reciclo BPD		
2100	900	75646,66	5359,93	777977,71	3702,24	120,763868	124,204906
2100	950	76905,13	5449,52	790920,22	3763,97	120,767172	124,2045
2100	1000	78157,23	5538,66	803797,27	3825,66	120,77037	124,204062
2100	1050	79415,63	5628,24	816739,15	3887,39	120,773437	124,203674
2100	1100	80667,92	5717,39	829618,15	3949,08	120,776409	124,203257
2100	1150	81926,27	5806,96	842559,45	4010,80	120,779263	124,202887
2100	1200	83178,73	5896,12	855440,23	4072,49	120,782031	124,202489
2100	1250	84437,03	5985,69	868381,00	4134,22	120,784694	124,202135
2100	1300	85689,65	6074,85	881263,42	4195,91	120,787279	124,201756
2100	1350	86947,90	6164,41	894203,68	4257,63	120,789768	124,201417
2100	1400	88200,67	6253,58	907087,63	4319,32	120,792189	124,201055

2100	1450	89453,26	6342,74	919969,77	4381,00	120,794536	124,200705
2100	1500	90714,44	6432,50	932940,15	4442,75	120,796787	124,200402
2100	1550	91967,53	6521,69	945827,36	4504,45	120,798985	124,200062
2100	1600	93220,34	6610,86	958711,73	4566,13	120,801121	124,199734
2100	1650	94481,12	6700,59	971678,06	4627,87	120,803174	124,199448
2100	1700	95734,37	6789,79	984567,00	4689,57	120,80518	124,19913
2100	1750	96987,37	6878,97	997453,29	4751,25	120,807132	124,198823
2100	1800	98247,98	6968,68	1010417,81	4812,99	120,809012	124,198553
2100	1850	99501,39	7057,89	1023308,38	4874,69	120,81085	124,198256
2100	1900	100754,56	7147,08	1036196,40	4936,37	120,812641	124,197968
2100	1950	102014,99	7236,78	1049159,15	4998,12	120,814368	124,197714
2100	2000	103268,55	7325,99	1062051,20	5059,81	120,816058	124,197434
2100	2050	104521,87	7415,18	1074940,79	5121,50	120,817708	124,197164
2100	2100	105775,20	7504,38	1087830,46	5183,18	120,819314	124,196899
2100	2150	107037,93	7594,24	1100816,88	5244,94	120,820858	124,196673
2100	2200	108291,76	7683,47	1113711,68	5306,64	120,822376	124,196414
2100	2250	109545,27	7772,67	1126603,22	5368,33	120,82386	124,196164
2100	2300	110798,78	7861,88	1139494,78	5430,02	120,825309	124,19592
2100	2350	112061,03	7951,70	1152476,27	5491,77	120,826703	124,195709
2100	2400	113315,00	8040,94	1165372,53	5553,47	120,828075	124,19547
2100	2450	114568,67	8130,15	1178265,73	5615,16	120,829418	124,195239
2100	2500	115822,34	8219,36	1191158,94	5676,85	120,83073	124,195012
2100	2550	117084,32	8309,17	1204137,57	5738,60	120,831994	124,194816
2100	2600	118338,42	8398,41	1217035,17	5800,30	120,83324	124,194594
2100	2650	119592,23	8487,63	1229929,87	5861,99	120,834461	124,19438
2100	2700	120846,05	8576,85	1242824,57	5923,68	120,835655	124,19417

2100	2750	122099,88	8666,07	1255719,38	5985,37	120,836822	124,193964
2100	2800	123363,68	8756,00	1268716,84	6047,14	120,837944	124,19379
2100	2850	124618,01	8845,26	1281616,79	6108,84	120,839054	124,193587
2100	2900	125871,99	8934,49	1294513,19	6170,53	120,840144	124,193391
2100	2950	127125,97	9023,72	1307409,54	6232,22	120,841211	124,193199
2100	3000	128379,96	9112,95	1320306,00	6293,91	120,842256	124,19301
2100	3050	129643,22	9202,84	1333297,86	6355,67	120,843263	124,19285
2100	3100	130897,66	9292,10	1346199,02	6417,38	120,844259	124,192663
2100	3150	132151,79	9381,34	1359096,87	6479,07	120,845238	124,192484
2100	3200	133405,91	9470,57	1371994,68	6540,76	120,846198	124,192307
2100	3250	134660,03	9559,81	1384892,57	6602,45	120,847138	124,192134
2100	3300	135914,17	9649,05	1397790,54	6664,14	120,84806	124,191963
2100	3350	137178,93	9739,04	1410797,86	6725,91	120,848946	124,191823
2100	3400	138433,58	9828,32	1423701,11	6787,62	120,849826	124,191654
2100	3450	139687,86	9917,56	1436600,54	6849,32	120,850693	124,191491
2100	3500	140942,13	10006,81	1449499,90	6911,01	120,851544	124,191331
2100	3550	142196,40	10096,06	1462399,31	6972,70	120,852378	124,191174
2100	3600	143450,68	10185,30	1475298,80	7034,39	120,853197	124,191019
2100	3650	144714,83	10275,25	1488299,74	7096,16	120,853986	124,19089
2100	3700	145969,58	10364,53	1501204,06	7157,87	120,85477	124,190737

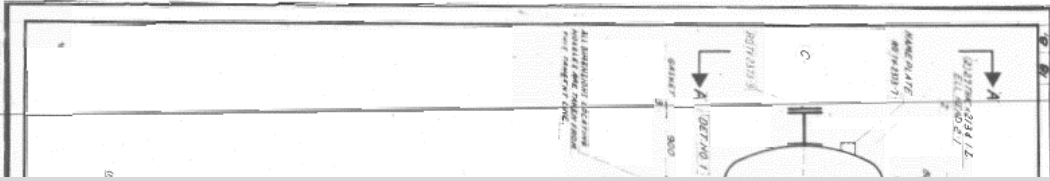
ANEXO B. DATA SHEETS EQUIPOS ESCENARIOS 1, 2 Y 3.

T-2756

3 OR REPRODUCED IN ANY MANNER OR THE COMPANY RELATING TO SUCH DATA.		PROCESS DIVISION 30 ALGONQUIN ROAD DES PLAINES, ILLINOIS 60016		6261 - 301 - 1
		PROJECT SPECIFICATIONS VESSELS		SHEET 14 OF BY <i>S.W. GONZALES</i> APP'D DATE
NAME OF VESSEL		PROPANE DRYER		ITEM T-2756
DESIGN	① INT 310	PSI 250.	* F	
CONDITIONS	EXT	PSI	* F	
RADIOGRAPH	N.A.			
POSTWELD HEAT TREAT	N.A.			
JOINT EFF. N.A.	X			
MATERIAL SPECIFICATIONS				
HEADS	CARBON STEEL			
SHELL	CARBON STEEL			
LINING				

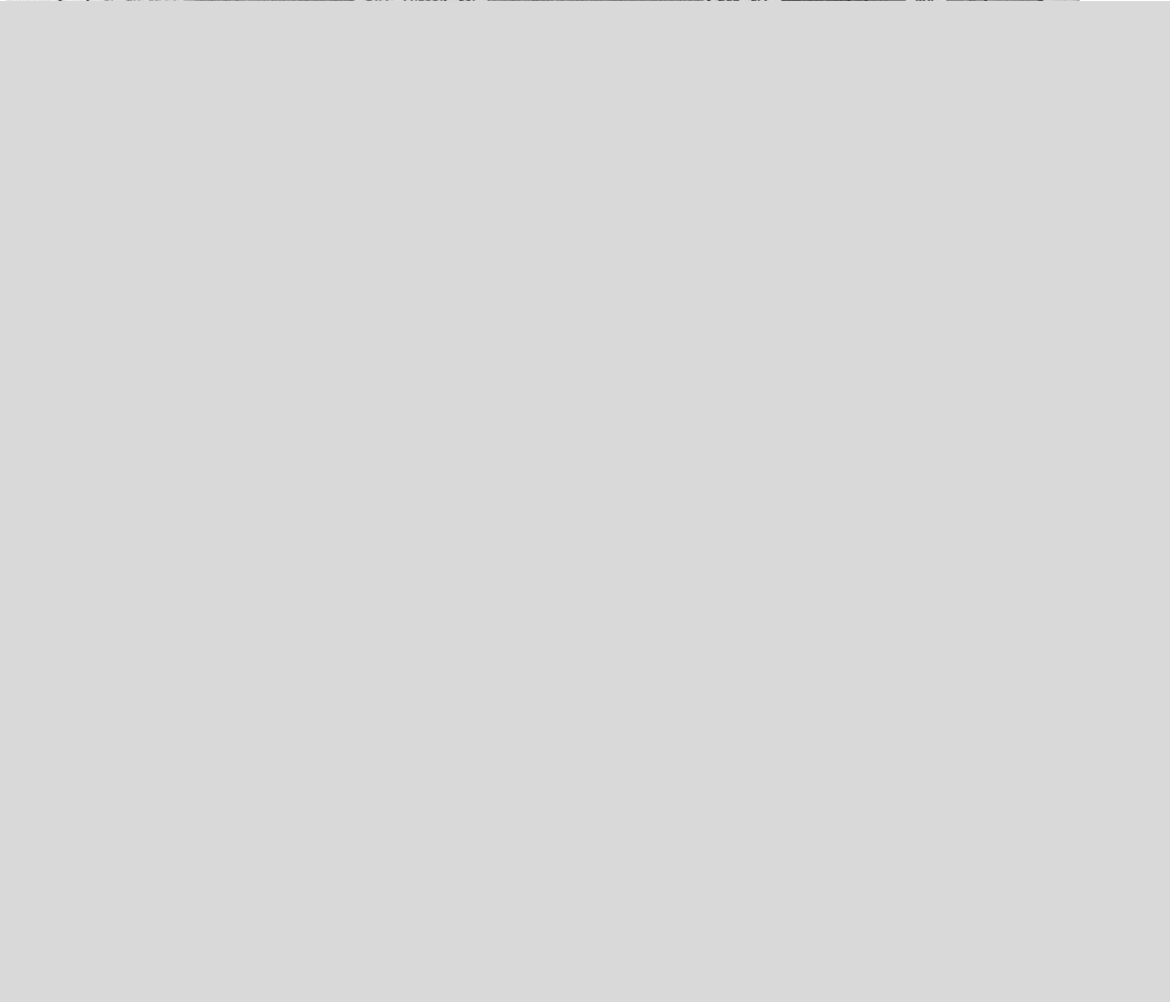
The drawing shows a cross-section of a cylindrical vessel. A horizontal line is labeled 'TANGENT LINE'. Below it, a curved line represents the vessel's bottom. A vertical line is labeled 'BAFFLE'. A dimension of '6"' is indicated between the tangent line and the baffle. A small square symbol is shown above the vessel.

D-2756



P-2759

TPL TechniPetroL SpA		PROJECT: "PLANTA DE BALANCE" - BARRANCABERMEJA - CLIENT: ECOPETROL-COLOMBIA	
DATA SHEET FOR CENTRIFUGAL PUMPS		CONTRACT 120105	UNIT S P 091009
		TYPE OF DOCUMENT 3	ACCOUNT CLASS & PROGRESSIVE 1 OF 2
SERVICE	DEPROPANIZER OVERHEAD	No. REQ'D	2
MAIN/DRIVER	1/EL. MOTOR	SPARE/DRIVER	1/STEAM TURBINE
PUMP MFR	NUOVO PUNONE	SIZE AND TYPE	5-2x9-TC
		<input checked="" type="checkbox"/> HORIZ.	<input type="checkbox"/> VERT. <input type="checkbox"/> IN-LINE
OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP		PERFORMANCE	
LIQUID	HYDROCARBON	U.S. gpm at PT. NOR.	438 RATED 533
		DISCH PRESS., psig	328
PT. F	100	SUCT PRESS., psig MAX	RATED 272
SP GR at PT	0.485	DIFF PRESS., psi	56
		PROPOSAL CURVE NO.	50174-44
		NPSH REQ'D (WATER), ft	18
		NO. OF STAGES	4 RPM 3545
		DES EFF %	74 BHP 24



1	CHANGED PROJECT NUMBER FROM 12221 TO 1201			2	ISSUED FOR ORDER	8.1.75	
0	ISSUED FOR INQUIRY	5.8.74		3	GENERAL REVISION	16.1.76	
REV	DESCRIPTION	DATE	BY	APPR.	REV	DATE	BY

E-2766

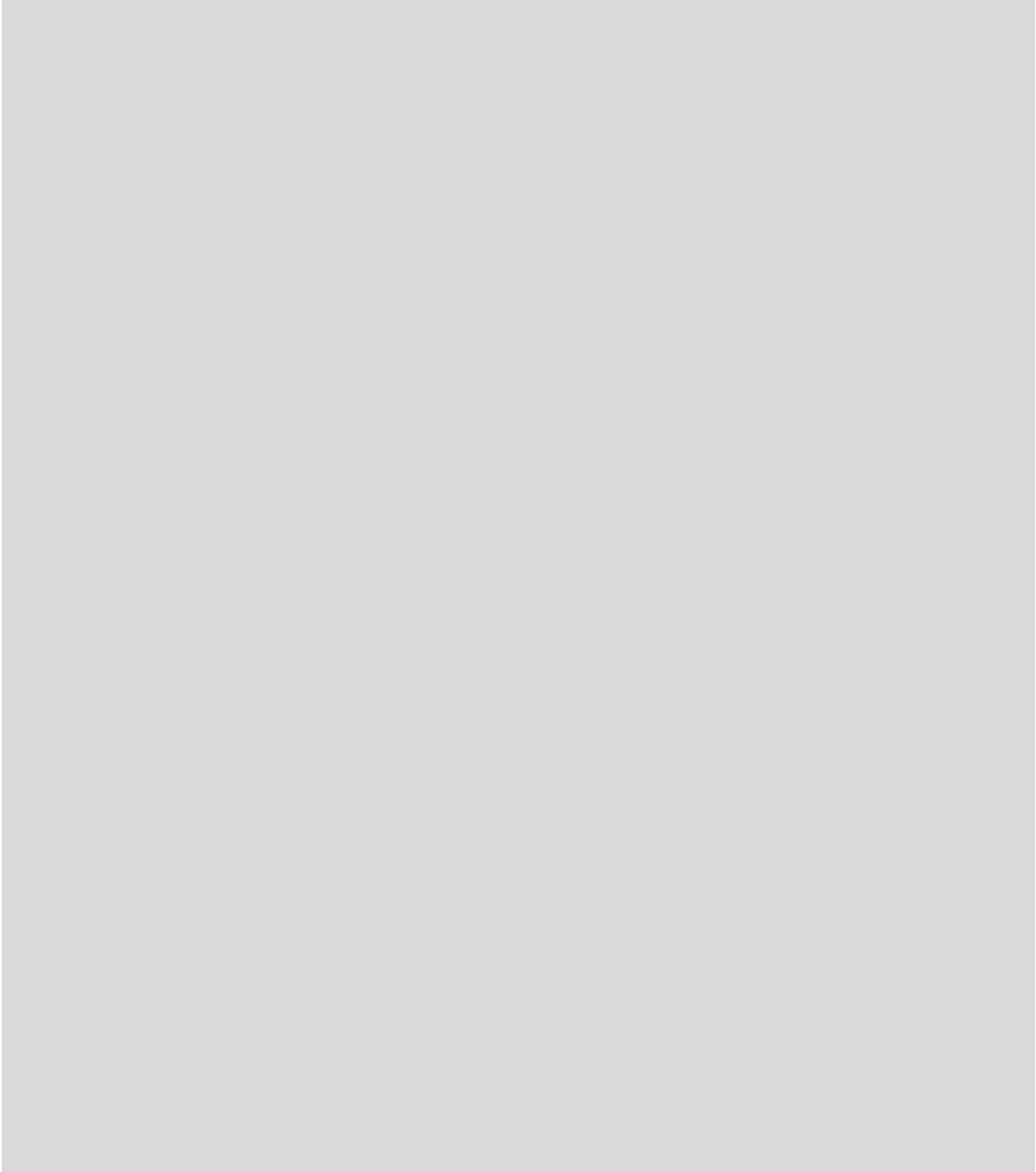
TPL TechniPetrol <small>INC.</small>		PROJECT: BARRANGABERMEJA REF. EXPANSION CLIENT: ECOPEPETROL					
DATA SHEET TUBE BUNDLE HEAT EXCHANGER		CONTRACT	UNIT	TYPE OF DOCUMENT	ACCOUNT CLASS & PROGRESSIVE	REV	SHEET
		120105		P 0	01021	3	1 of 1
SERVICE OF UNIT: DEPROPANIZER OVERHEAD CONDENSER					ITEM: E-2766 A/E-2766 B		
SIZE: 39" x 192" TYPE: TEMA "AES" (HORIZ: VERT); CONNECTED: IN PARALLEL IN SERIES					M/R		
SURFACE FOR UNIT (EFF.) 3804		Sqft		Nº OF SHELLS PER UNIT 1	; SURFACE FOR SHELL (EFF.) 3804 Sqft		
PERFORMANCE OF ONE UNIT					(NO. 2 OF UNITS REQUIRED)		
SHELL SIDE				TUBE SIDE			



51	TEMA CLASS "B"		CODE REQUIREMENTS UOP 251 & EDS 3-1			
52	WEIGHT EMPTY	Lb;	FULL OF WATER	Lb;	TUBE BUNDLE	Lb
53						
54						
55	NOTES: (1) BUBBLE POINT AT 270 PSIG IS 115°F	3	9/12/74	REV. AS SHOWN		
56		2	11/9/74	REV. PROJ. No - GEN. REV.		
57	(2) Provide 1" Flanged vent on shell for non combust. L1c gas	1	30/7/74	ISSUED FOR INQUIRY		
58		0		PROCESS ISSUE	cc	CP
59	(3) ONLY ON C.S.		REV	DATE	DESCRIPTION	BY APPR.

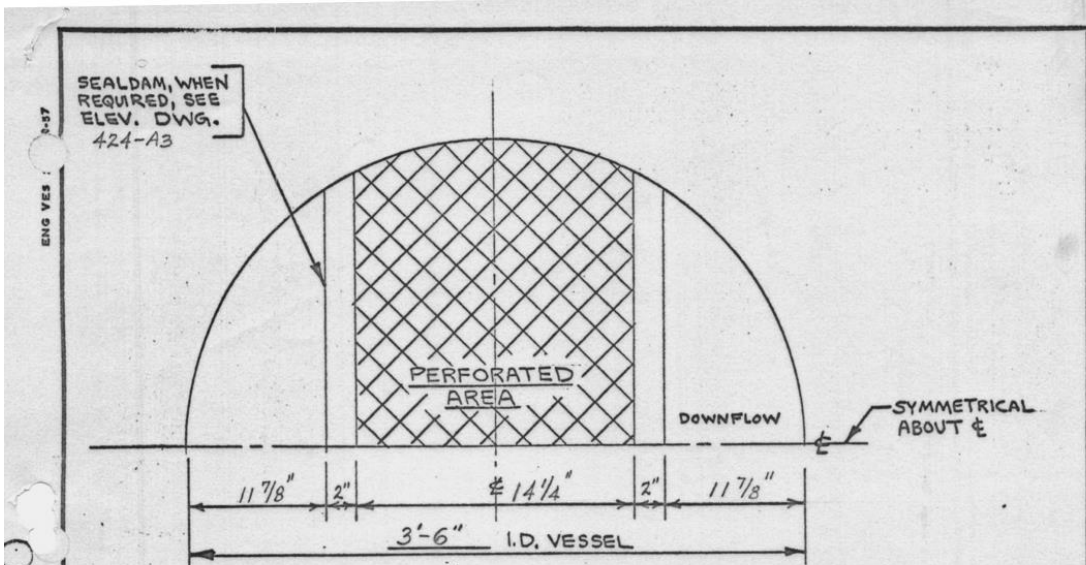
E-2767

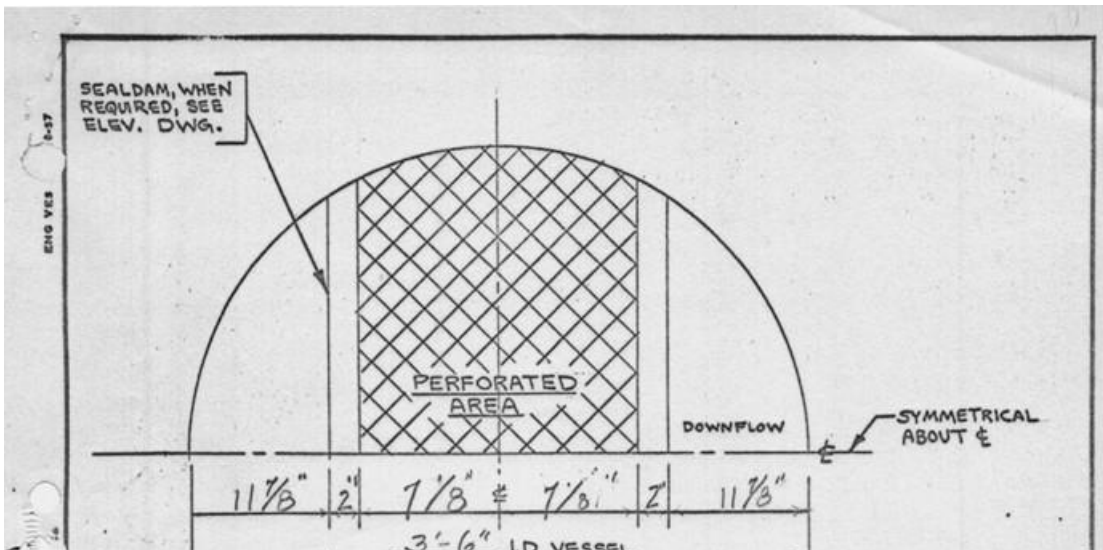
TPL TechniPetroL S.p.A	PROJECT: BARRANLABRERA REE EXPANSION					
	CLIENT: ECOPETROL					
DATA SHEET TUBE BUNDLE HEAT EXCHANGER	CONTRACT: 120105	UNIT: 1015	TYPE OF DOCUMENT: P O	ACCOUNT CLASS & PROGRESSIVE: 1015	REV: 3	SHEET: 1 OF 1
SERVICE OF UNIT: PROPANE DRYER BOTTOMS COOLER	ITEM: E-2767			M/R:		

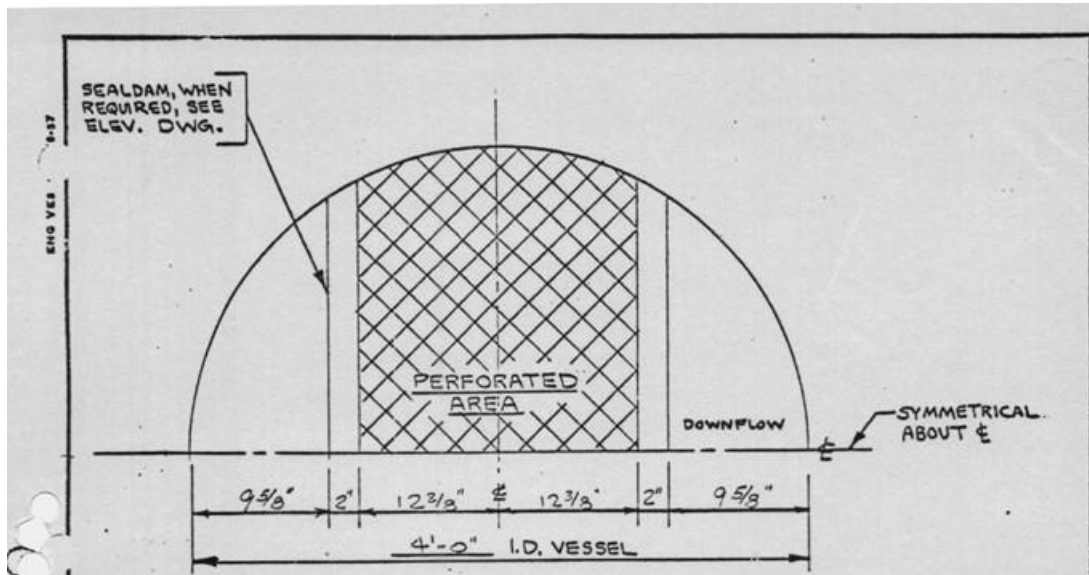


E-2768

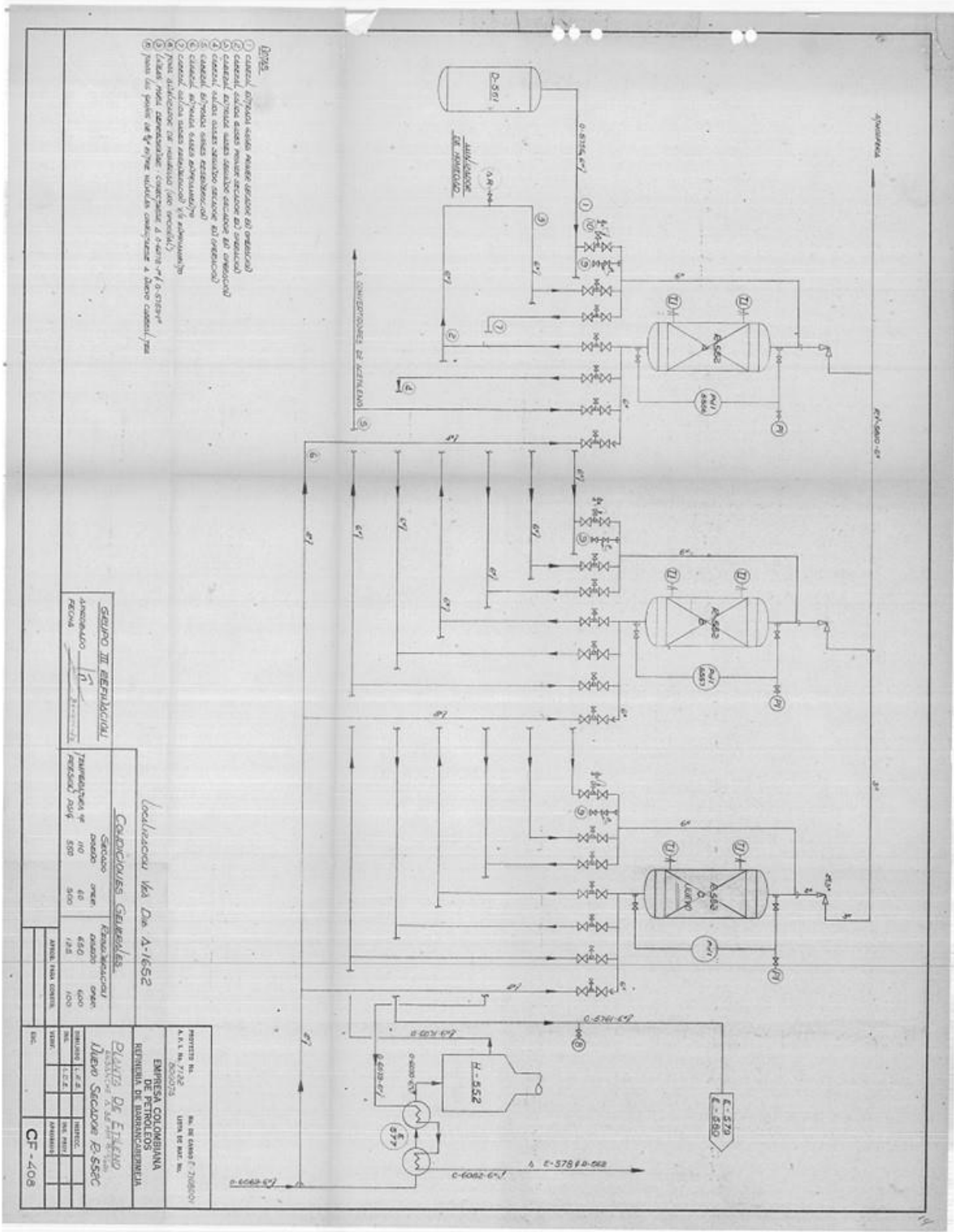
TPL TechniPetrol		PROJECT: SARRANCA BERTEJA RET. EXPANSION	
DATA SHEET TUBE BUNDLE HEAT EXCHANGER		CLIENT: ECOPEPETROL	
SERVICE OF UNIT: PROPANE DRYER REBOILER		ITEM: E-2768	
SIZE: 21" x 42"		TYPE: A... U" TEMA (HORIZ.) (VERT.) CONNECTED: IN PARALLEL IN SERIES	
SURFACE FOR UNIT (EFF.): 164.8		Sqft No. OF SHELLS PER UNIT: 1 SURFACE FOR SHELL (EFF.): 164.8 Sqft	
PERFORMANCE OF ONE UNIT (NO. OF UNITS REQUIRED)			
COLUMN SIDE		TUBE SIDE	
FLUID CIRCULATED: C3 HYDROCARBON		FCC LIGHT CYCLE OIL	
TOTAL FLUID ENTERING: 42192 Lb/h		32728 Lb/h	
IN OUT		IN OUT	
VAPOR: 19783 Lb/h		Lb/h Lb/h	
LIQUID: 42192 Lb/h		32728 Lb/h 32728 Lb/h	
STEAM: Lb/h		Lb/h Lb/h	
WATER: Lb/h		Lb/h Lb/h	
NON-CONDENSABLES: Lb/h		Lb/h Lb/h	
LIQUID SP. GR. AT CONDITIONS: .467		.467 .796 .848	
M.W. VAPORS: 42.7			
M.W. NON-CONDENSABLES: .08 at 130°F		.37 at 470°F .59 at 350°F	
LATENT HEAT Btu/Lb = SPEC. HEAT Btu/Lb OF: at OF		at OF at OF	
THERM COND. LIQ./VAP Btu/h.ft OF: at OF		at OF at OF	
OPERATING TEMPERATURE: 130 OF		470 OF 350 OF	
OPERATING PRESSURE: 280 PSIG		120 PSIG 3.3 PSIG	
VELOCITY: ft/s		ft/s ft/s	
NUMBER OF PASSES FOR SHELL: STABBED-IN		8	
PRESSURE DROP: ALLOWED - PSI CALC. PSI		ALLOWED 10. PSI CALC. 2.4 PSI	
FOULING FACTOR (MIN): .001		.002 h OF Sqft/Btu	
HEAT EXCHANGED: 2160000 Btu/h		MTD log (corrected) 275 OF	
TRANSFER RATE-SERVICE: 47		Btu/h Sqft OF CLEAN 88 Btu/h Sqft OF	
CONSTRUCTION OF ONE SHELL			
PRESSURE: PSIG DESIGN 320 TEST CODE		DESIGN 160 TEST CODE	
DESIGN TEMPERATURE: OF 250		520	
NO OF TUBES: 140 O.D. 3/4 IN		14 BWG	
LENGTH: 3.5 ft; PITCH: 1. IN		NOZZLES	
SHELL DIA.: O.D. I.D. IN; MAX DIA BUNDLE IN		SHELL SIDE TUBE SIDE	
BAFFLES-CROSS TYPE: SUPPORT		N. Ø SERIES & TYPE N Ø SERIES & TYPE	
CUT: (VERT.) (HORIZ.) (45°)		1 3 300#RF	
BAFFLE LONG (NO) IMPING. PLATE (YES) (NO)		1 3 300#RF	
MATERIALS (ACCORDING TO: ASTM)		PREL. CASE	
TUBES: A 179		THICK	
SHELL: -		CHECK CLEAN	
SHELL COVER: -		CORROSION ALLOWANCE: SHELL SIDE 1/8 IN TUBE SIDE 1/8 IN	
CHANNEL: A 515-60		GASKETS: SHELL	
CHANNEL COVER: A 105-71		CHANNEL: ARHCO CLAD ASBESTOS	
FLOATING HEAD COVER: -		FLOATING HEAD: -	
TUBESHEET: A 105-71		SHELL/CHANNEL: ARHCO CLAD ASBESTOS	
BAFFLES AND TUBE SUPPORTS: A 283-C		TEST RING (YES) (NO)	
BOLTINGS: SHELL COVER: -		TEST FLANGE (YES) (NO)	
SHELL/CHANNEL: A 193-B7 / A 194-21		THK OF INSUL. SHELL SIDE IN; TUBE SIDE IN	
FLOATING HEAD: -			
CHANNEL COVER: A 193 B7 / A-194-21			
T.E.M.A. CLASS "D" CODE REQUIREMENTS UOP 251 & EDS 3-1			
WEIGHT EMPTY: Lb; FULL OF WATER: Lb; TUBE BUNDLE: Lb			
NOTES: (1) See next sheet for additional requirements			
(2) COLUMN I.D. 48"			
REV	DATE	DESCRIPTION	BY
2	11/9/74	REV. PROJ. NO	11
1	30/7/79	ISSUED FOR INQUIRY	
0		PROCESS ISSUE	







R-552 A/B/C



GRUPO III REPLICADA
 Aprobado: [Signature]
 Fecha: [Date]

CONDICIONES GENERALES	
Sistema	Refrigeración
Capacidad	100 TR
Temperatura de evaporación	5°C
Temperatura de condensación	35°C
Presión de evaporación	0.5 bar
Presión de condensación	12 bar

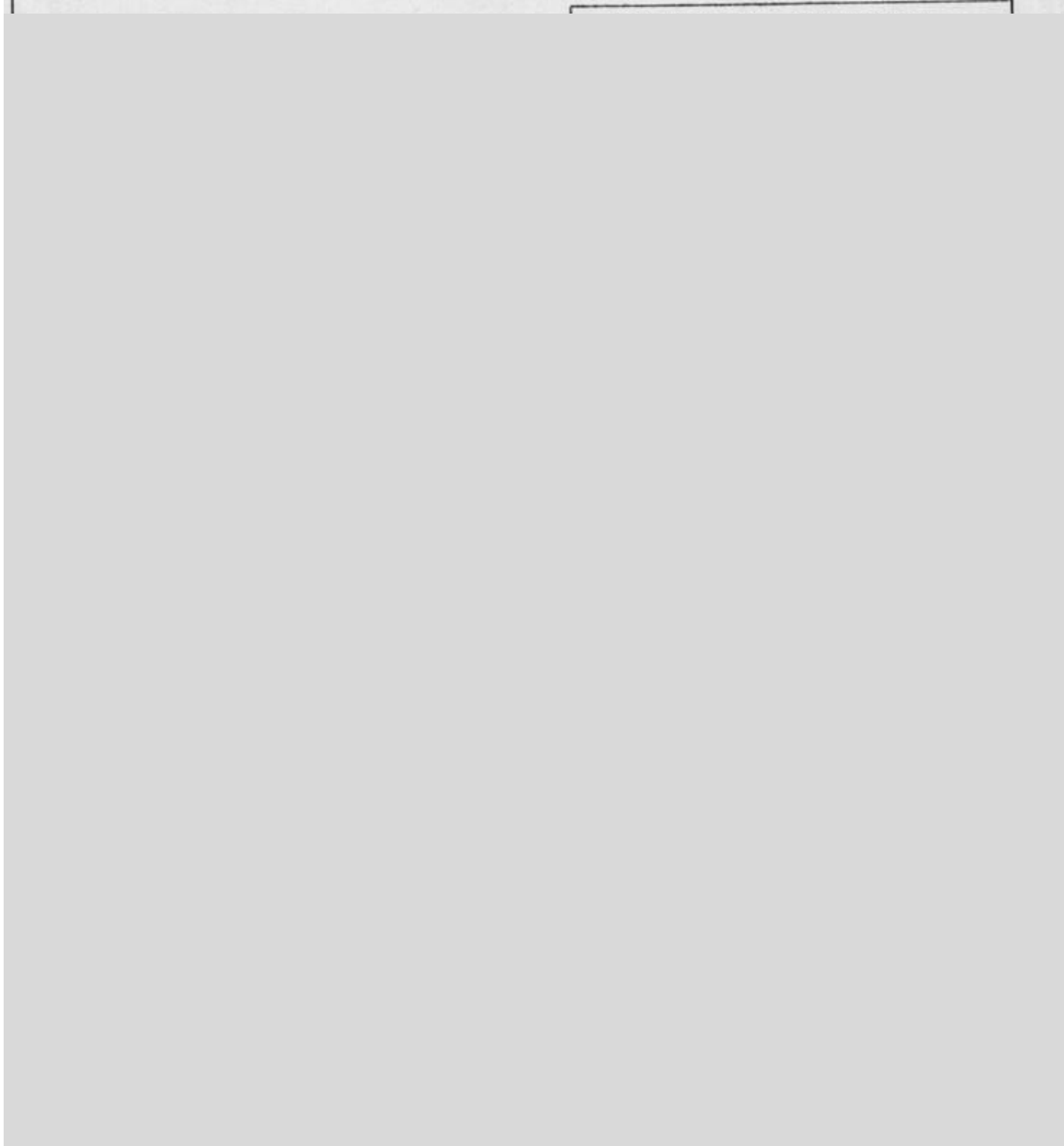
Localización: Vía Dca A-1652

PROYECTO No. [Number]
 A.S.T. No. 7182
 EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS
 REFINARIA DE BOGOTÁ

PLANTA DE EMERGENCIA	
Modelo	1-2-E
Material	1-2-E
Fecha	1-2-E
Revisión	1-2-E
Elaborado por	[Name]
Revisado por	[Name]
Aprobado por	[Name]

CF-406

- JUL. 1933



DE PETROLEOS REFINERIA DE BARRANCABERMEJA	LA DESMÉTANIZADORA	APROB. PARA CONSTR.	ESCALA NO	A
--	--------------------	---------------------	--------------	---