

**ESTRATEGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA UNIDAD  
DE ALQUILACIÓN U-4560**

**ERIKA DANIELA MANRIQUE RUEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

**ESTRATEGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA UNIDAD  
DE ALQUILACIÓN U-4560**

**ERIKA DANIELA MANRIQUE RUEDA**

**Trabajo de Grado para optar por el título de:  
Ingeniera Química**

**DIRECTOR: CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA  
INGENIERO QUÍMICO, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios.**

Por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por atender a mi llamado cada vez que lo pedí.

### **A mi Familia.**

Por su apoyo y amor incondicional durante toda mi carrera. Por creer y confiar en mí.

### **A mis Profesores y Tutores.**

Por compartir conmigo todo su conocimiento y experiencia.

### **A mis Amigos y Compañeros.**

Por todos los momentos compartidos y las grandes lecciones aprendidas.

### **A ti.**

Por tu amor, tu compañía y tus palabras de aliento.

**ERIKA DANIELA MANRIQUE RUEDA.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Son muchas las personas que se han cruzado en mi camino y quizá sin proponérselo han dejado un valioso rastro de sí mismos en mi vida. Unas cuantas letras en este libro no serían suficientes para agradecer el aporte que he recibido de cada uno de ustedes. Me queda mucho por aprender y un largo camino por recorrer.

Debo agradecer primeramente a Dios, por ser mi Señor y dador de vida, por darme la oportunidad de emprender este camino que hasta ahora comienza. A mis padres, por las metas alcanzadas hasta hoy; ellos son los guerreros que me inspiran y son el origen de todos mis impulsos. Fueron ellos los que con amor, valor y coraje, sembraron en mi las primeras semillas de superación.

Agradezco a ECOPETROL S.A y a cada uno de aquellos que conforman el equipo de Cracking II por propiciar mi aprendizaje.

Al Ingeniero Carlos Alberto Meza Méndez y al Ingeniero Mauricio Amaya por favorecerme con su presencia, por escucharme, aconsejarme, instruirme y corregirme en cualquiera de los momentos compartidos.

A mi alma máter, que no solo me llenó de conocimiento, sino de sabiduría para conducirme en la vida, que me adoptó como parte de su ser y me colmó de felicidad, buenos momentos, grandes amigos, hermosas enseñanzas de vida y amor por el esfuerzo propio.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	29
1. MARCO TEÓRICO .....	30
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....	30
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE ALQUILACIÓN.....	31
1.2.1. Sección de fraccionamiento.....	31
1.3. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	32
2. OBJETIVOS.....	34
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	34
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	34
3. METODOLOGÍA .....	35
3.1. ESTUDIO DE LA UNIDAD DE ALQUILACIÓN .....	35
3.2. ETAPA 0: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y PLANTEAMIENTO BASE .....	36
3.2.1. Recopilación de información.....	36
3.2.2. Planteamiento base.....	36
3.3. ETAPA 1: PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO .....	38
3.4. ETAPA 2: ESTUDIO DE ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO .....	39
3.4.1. Control de temperatura en las válvulas decalentadoras .....	39
3.4.2. Reflujo para las torres deisobutanizadora T-4562 y splitter T-4566.....	40
3.4.3. Recuperación de la confiabilidad de las trampas de vapor de la unidad. ....	41
3.4.4. Estrategias para la disminución del consumo de energía eléctrica.....	42
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	29

4.1. PLANTEAMIENTO BASE .....	29
4.2. CONTROL DE TEMPERATURA EN LAS VÁLVULAS DECALENTADORAS	36
4.3. RELACIONES DE RELUJO PARA LAS TORRES DEISOBUTANIZADORA T-4562 Y SPLITTER T-4566 .....	37
4.4. RECUPERACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LAS TRAMPAS DE VAPOR DE LA UNIDAD.....	39
4.5. ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO..	39
4.5.1. Análisis dela operación en modo economizador.....	39
4.6. RELACIONES CONSUMO/PRODUCCIÓN (MAYO-JUNIO) .....	40
CONCLUSIONES .....	41
RECOMENDACIONES .....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
BIBLIOGRAFIA.....	46
ANEXOS.....	48

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Datos de diseño para comparación .....	37
Tabla 2. Relaciones consumo/producción (2011-2013).....	38
Tabla 3. Constantes de antoine correspondientes a las condiciones operacionales que se manejan en alquilación.....	40
Tabla 4. Promedios de los datos para la torre deisobutanizadora (2011-2013).....	38
Tabla 5. Promedios de los datos para la torre splitter (2011-2013) .....	38
Tabla 6. Valores promedio que cumplen con la relación de reflujo según diseño para la DIB (T-4562) .....	39
Tabla 7. Valores promedio que cumplen con la relación de reflujo según diseño para la splitter (T-4566).....	39
Tabla 8. Resultados del diagnóstico realizado a las trampas de vapor de la unidad .....	35
Tabla 9. Pérdidas por trampas en Falla .....	39
Tabla 10. Relaciones consumo/producción (mayo-junio). .....	40

## LISTADO DE GRÁFICAS

Grafica 1. Tendencia del consumo energético (2011-2013) .....	29
Grafica 2. Distribución consumo energético (2011-2013) .....	35
Grafica 3. Distribución pérdidas (2011-2013) .....	35
Grafica 4. Tendencia temperaturas vapor decaletado (enero-marzo).....	36
Grafica 5. Tendencia temperaturas vapor decaletado (mayo-junio) .....	37

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Cuadro Metodológico.....	35
Figura 2. TAG de Identificación para las trampas de vapor de alquilación. ....	42

## LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. Descripción de la unidad de alquilación .....	48
ANEXO B. Esquema general del proceso de alquilación.....	50
ANEXO C. Esquema del proceso de separación de isobutano (T-4562).....	51
ANEXO D. Esquema del proceso de separación de butano (T-4563) .....	52
ANEXO E. Esquema del proceso de separación de alquilato (T-4565) .....	53
ANEXO F. Herramienta para el seguimiento diario al control de temperatura de las válvulas de calentadoras .....	54
ANEXO G. Estudio de las variables operacionales importantes en el funcionamiento de las torres (T-4562 y T-4566) .....	52
ANEXO H. Identificación y tarjeteo de las trampas de vapor.....	53
ANEXO I. Realización de las pruebas de ultrasonido para diagnóstico de trampas de vapor.....	54
ANEXO J. Formato de control para el sistema de trampas de vapor.....	55

## RESUMEN

**TÍTULO:** Estrategias para el Aprovechamiento Energético de la Unidad de Alquilación U-4560\*

**AUTOR:** Erika Daniela Manrique Rueda\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Recuperación Energética, Rehervidor, Reflujo, Trampa de Vapor.

La Unidad de Alquilación (U-4560) del Departamento de Cracking II de la GRB, diseñada para producir 7150 BPD de alquilato a partir de una carga combinada de olefinas e isobutanos balanceados, que reaccionan con ácido sulfúrico presenta un alto consumo energético evidenciado en el aumento del índice de intensidad energética de la planta y por lo tanto del Departamento de Cracking II, lo que genera la incapacidad de aprovechar la energía y una pérdida económica para la Empresa.

Se encontró que limitaciones operaciones tales como poco control de la temperatura en los rehervidores de las torres en la zona de fraccionamiento, altas relaciones de reflujo, golpe de ariete, escapes de vapor y la operación no adecuada de los sistemas de trampeo son factores que influyen en el alto consumo de vapor y, por lo tanto, en el consumo energético.

El presente proyecto tuvo como propósito identificar el paretto, proponer y evaluar estrategias para incrementar la recuperación energética de la planta.

Se creó un sistema de seguimiento a las temperaturas de los rehervidores de las torres de destilación, se encontraron los flujos para mantener una adecuada relación de reflujo en la torre deisoutanizadora, se realizó una identificación, tarjeteo y diagnóstico de las trampas de vapor, se catalogó el pedido de trampas. Finalmente se analizó el consumo de energía eléctrica.

\*Trabajo de Grado.

\*\*Facultad de Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: MSc. Crisóstomo Barajas Ferreira, Ingeniero Químico.

## ABSTRACT

**TITLE:** Strategies for the energy use of the Alkylation Unit U-4560\*

**AUTHOR:** Erika Daniela Manrique Rueda\*

**KEY WORDS:** Energy recovery, Rehervidor, reflux, Steam trap.

The alkylation unit (U-4560) of the Department of Cracking II of the GRB designed to produce 7150 BPD of alkylate from a combined load of olefins and isobutanes balanced that react with sulfuric acid presents a high energy consumption as evidenced by the increase of the rate of energy intensity of the plant and therefore of the Department of Cracking II, generating energy wastage and economic loss for the Company.

It was found that limitations operations such as little control of the temperature in the heat exchangers of the towers in the area of fractionation, high relations of reflux, water hammer, steam escapes and the operation is not suitable for trapping systems are factors that influence in the high consumption of steam and therefore in the energy consumption. This project was to identify the purpose pareto, propose and evaluate strategies to increase the energy recovery plant.

A system of follow-up to the temperatures of the reboilers of the distillation towers was created, the flows were found to maintain an appropriate relationship of reflux in the debutianizer tower, there was an identification, and diagnosis of steam traps are made, the order of traps was classified. Finally the energy consumption was analyzed.

\*Undergraduate Project.

\*\*Physical and Chemical Engineering's Faculty. School of Chemical Engineering. Advisor: MSc. Crisóstomo Barajas Ferreira, Chemical Engineer.

## INTRODUCCIÓN

Ecopetrol S.A, principal compañía petrolera de Colombia, comprometida con el desarrollo sostenible, es reconocida por su gestión ambiental, posee líneas estratégicas para lograr una excelente operación con un máximo de rentabilidad y un mínimo de impacto ambiental a través de la ejecución de proyectos y programas de eficiencia y diversificación energética.

En cumplimiento con los objetivos dentro del marco estratégico ambiental en cuanto a la recuperación energética, el Departamento de Cracking II ubicado en la Gerencia Complejo de Barrancabermeja (GCB), ha venido trabajando arduamente para disminuir el desaprovechamiento energético que se presenta en la Unidad de Alquilación, incluso desde su arranque e inicio de operaciones el 22 de Noviembre del 2002. Estos inconvenientes energéticos son hechos causales de cuantiosas pérdidas económicas y productivas para el complejo, por lo tanto, para toda la empresa.

Por este motivo, a través del siguiente proyecto, se realiza un estudio de consumo e ineficiencia energética de la Unidad de Alquilación, estableciendo oportunidades de ahorro y planteando estrategias para el aumento de la recuperación energética de la planta.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Ecopetrol S.A es la empresa más grande de Colombia, con 63 años de historia. Es conocida como una compañía integrada del sector de petróleo y gas, que participa en todos los eslabones de la cadena de hidrocarburos: exploración, producción, comercialización y transformación en combustibles y productos de mayor valor agregado como petroquímicos.

Su naturaleza jurídica la ubica como una sociedad de economía mixta de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía [1]. Cuenta con campos de extracción en el centro, sur oriente y occidente Colombia, dos refinerías (Barrancabermeja y Cartagena), puertos de exportación e importación de combustibles y una amplia red de transporte de oleoductos y poliductos a lo largo del territorio nacional.

La Gerencia Complejo de Barrancabermeja es la mayor refinería de Ecopetrol en el país, ubicada en la región central, más específicamente en la ciudad de Barrancabermeja. Con una capacidad de carga de aproximadamente 230 mil barriles por día; se procesan crudos de varias calidades para producir diferentes tipos de productos requeridos para garantizar la demanda y el consumo nacional.

El área de refinación produce principalmente gasolinas y destilados. El área de petroquímica elabora productos petroquímicos tales como bases lubricantes, parafinas, aromáticos y polietilenos. En el área de ruptura catalítica o *cracking* principalmente se cargan gasóleos para producir GLP y nafta por medio del

rompimiento de moléculas de hidrocarburos grandes. Los productos terminados y el recibo de crudo se realizan en el área de materias primas. Los servicios industriales son generados en la refinería con recurso propio [2].

Ecopetrol está ubicada en la posición número 35 dentro de las empresas petroleras más grandes del mundo por sus ventas, utilidades y activos, según el ranking de PIW (Petroleum Intelligence Weekley) [3].

## 1.2. ESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE ALQUILACIÓN

La unidad de Alquilación U-4560 (ANEXO A), está ubicada en el Departamento de Cracking II, diseñada por STRATCO, maneja una corriente de butanos de campo y una carga combinada de olefinas proveniente de las Cracking [4], que reaccionan en presencia de ácido sulfúrico como catalizador para producir alquilato liviano y pesado; componentes principales para la obtención del avigas y gasolina de alto octanaje (ANEXO B).

### 1.2.1. Sección de fraccionamiento.

En esta sección se tiene un tren de 3 torres de destilación operando en serie, obteniéndose isobutano, n-butano y alquilato producto, así:

- **Separación de isobutanos:** esta separación ocurre en la torre deisobutanizadora, DIB, T-4562 (ANEXO C), en donde el isobutano es separado del efluente neto que proviene de la sección de tratamiento y recirculado al proceso.
- **Separación de butanos:** en la torre debutanizadora, DB, T-4563 se separa el normal butano del alquilato, la carga a esta torre proviene de la T-4562 (ANEXO D).

- **Separación de alquilato:** esta separación se realiza en la torre rectificadora de alquilato, ReRun, T-4565, donde son segregados el alquilato liviano y el alquilato pesado (ANEXO E).

### **1.3. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Para lograr alcanzar el millón trescientos mil barriles limpios en 2020, la compañía hace esfuerzos importantes en materia de energía, optimizando y racionalizando las fuentes energéticas utilizadas en los procesos productivos, mediante la reducción del consumo, de los costos, de las emisiones de CO<sub>2</sub> y del riesgo en el uso de las fuentes; aumentando la eficiencia operacional, la confiabilidad, la competitividad de los procesos y diversificando las fuentes energéticas.

Desde el año de 2002 en el que inició sus operaciones, la planta de alquilación ha trabajado en la importante tarea de la compañía por mejorar los procesos protegiendo, recuperando y aprovechando la energía; sin embargo la unidad presenta alto consumo de vapor por operación inadecuada de los rehervidores debido a la transferencia de calor sensible, alta relación de reflujo en la torre deisobutanizadora y en la torre splitter, escapes de vapor por trampas en falla, alto consumo de energía eléctrica, las cuales obligan al personal operativo a realizar paradas de emergencia con mayor frecuencia, lo que representa gastos en materias primas, servicios industriales, equipos de mantenimiento y acarreado pérdidas en la producción .

Por ello surge la necesidad de estudiar el estado energético de la planta. El presente proyecto, establece el consumo y las pérdidas energéticas; posteriormente se proponen estrategias y se suministra una serie de recomendaciones encaminadas a aumentar el aprovechamiento de los recursos

energéticos suministrados que, en conjunto, permiten el crecimiento de la compañía, lo que se traduce en la capacidad de brindar los mejores productos y servicios al país.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Proponer estrategias de tipo operacional y de mantenimiento para el aprovechamiento energético de la unidad de alquilación U-4560, con el fin de recuperar la integridad energética del proceso en general.

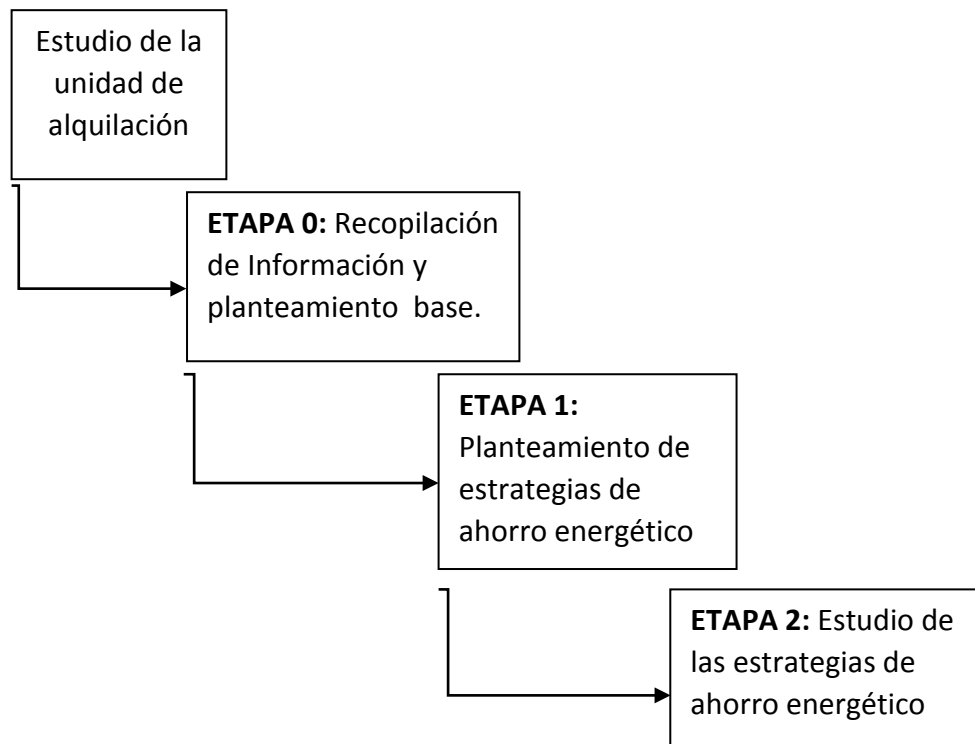
### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Asegurar la transferencia de calor latente en los rehervidores de la zona de fraccionamiento mediante un mayor seguimiento de la temperatura en las válvulas decalentadoras
- Encontrar los reflujos adecuados para la operación de la Torre deisobutanizadora T-4562 y la torre splitter T-4566
- Recuperar la confiabilidad de las trampas de vapor
- Encontrar estrategias para la disminución del consumo de energía eléctrica

### 3. METODOLOGÍA

En la Figura 1 se encuentra la metodología utilizada para el desarrollo de la problemática planteada.

Figura 1. Cuadro Metodológico



#### 3.1. ESTUDIO DE LA UNIDAD DE ALQUILACIÓN

Se realizó el estudio de la unidad de alquiler, entendiendo el proceso global así como el funcionamiento de equipos y variables operativas importantes; para ello se utilizaron manuales de descripción de procesos de la unidad, PFD, P&ID's, DataSheets de los equipos y guías operativas para abordar la problemática.

## **3.2. ETAPA 0: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y PLANTEAMIENTO BASE**

### **3.2.1. Recopilación de información.**

Debido a que no se encontraron estudios relacionados con el consumo y la situación energética de la unidad, se utilizó información basada en los reportes de los Ingenieros de procesos y en las entrevistas hechas al personal operativo encargado.

### **3.2.2. Planteamiento base.**

Para la cuantificación del consumo energético se ha venido utilizando un sistema basado en el cálculo del CELRef, el cual es una herramienta de monitoreo en donde los datos reales de rendimiento de una refinería son traducidos a un formato estándar que proporciona una base para la evaluación de la eficiencia de la instalación [5].

El CELRef usa diferentes factores para convertir combustible, electricidad y vapor a una Referencia Estándar de Combustible (SRF, por sus siglas en inglés). El concepto general enmarca una comparación de la situación actual con una situación estándar o teórica; está diseñado para tener en cuenta factores operacionales importantes como temperatura y composición de la alimentación, rendimientos de destilación y propiedades de la materia prima, que influyen de cierta manera en el consumo energético de una instalación, también tiene en cuenta los consumos que no están relacionados a los procesos como iluminación [6].

Se cuantificó el consumo de energía en un periodo de 3 años dividiéndolo de la siguiente manera: consumo de vapor de 400 psig, consumo de vapor de 150 psig, consumo de vapor de 50 psig y consumo de energía eléctrica. La cuantificación del consumo en el periodo establecido se basó en los datos mensuales obtenidos del CELRef, publicados en el Sistema de Información de la Refinería (RIS), en el

módulo de la Coordinación de Energía y Pérdidas; estos datos se encuentran kilotoneladas (KTon) por lo cual se realizó la conversión a millones de Btu (GBtu) con el fin de ser comparados entre sí, utilizando las relaciones:

1 Ton = 2204,6 lb

1 lb de vapor = 1,14 Btu (dato proporcionado por el Departamento de Energía y Pérdidas)

1000 MW = 12 Btu (dato proporcionado por el Departamento de Energía y Pérdidas)

Teniendo los datos del consumo de energía, éstos se compararon con los de diseño que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de diseño para comparación

Descripción	Consumo
Vapor baja presión (50 psig)	17059 lb/h
Vapor media presión (150 psig)	54773 lb/h
Vapor alta presión (400 psig)	1449,2 lb/h
Electricidad	4388 KW

A partir de esto se halló el porcentaje de consumo en cada una de las divisiones. El porcentaje de pérdidas se calculó con la ecuación 1.

Ecuación 1

$$\% \text{ pérdidas} = | (\text{valor de diseño} - \text{valor real}) / \text{valor de diseño} * 100 |$$

Finalmente se determinaron las relaciones consumo/producción de alquiler, las cuales se muestran en la Tabla 2, como indicadores de medio para evaluar el desempeño energético.

Tabla 2. Relaciones consumo/producción (2011-2013)

TEMA		UNIDAD	VALOR PARA 2011-2013	VALOR IDEAL
Producción de Alquilate		B/D	1091,05*	7067**
Factor de Utilización		%	15,44*	84**
Consumo de Vapor	400 psig	Lb/h	2184,25*	1449**
	150 psig	Lb/h	22343,37*	54773**
	50 psig	Lb/h	10141,54*	17059**
Consumo de E.E		MW/h	2,7521*	4,38**
Relación Lb Vapor/ Producción	400 psig	Lb/bbl	48,05	4,92
	150 psig	Lb/bbl	491,49	186,01
	50 psig	Lb/bbl	223,09	57,93
Relación MW/bbl		MW/bbl	0,06054	0,01487477

\* Valores promedio, \*\* Valores Ideales tomados de especificaciones de diseño

### 3.3. ETAPA 1: PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO

En esta etapa se plantearon las estrategias de ahorro que establezcan medios para recuperar la integridad energética del proceso mejorando la problemática actual.

#### ¿Qué estrategias podrían ayudar a mejorar la situación actual?

- Mejorar la transferencia de calor en los rehervidores, realizando un control de temperatura en las válvulas decalentadoras de los cabezales de vapor a la planta.
- Encontrar el reflujo óptimo y relación de reflujo según el diseño para la Torre deisobutanizadora y la torre splitter, debido a que su correcta operación es clave en el proceso.
- Recuperar la confiabilidad de la totalidad de los sistemas de trampas de la unidad, identificando, marcando, diagnosticando y cambiando los que se encuentren en falla.
- Generar recomendaciones para la disminución del consumo eléctrico del motores (compresor, bombas centrífugas), analizando la puesta en servicio del

Economizador, el cual debe ahorrar entre el 7 y el 9% del consumo del compresor).

### **3.4. ETAPA 2: ESTUDIO DE ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO**

Se abordó cada una de las estrategias establecidas anteriormente, basándose en los libros de diseño, la información recopilada, herramientas computacionales como EXCEL y la base de datos de la empresa.

#### **3.4.1. Control de temperatura en las válvulas decalentadoras**

El análisis se inició con la revisión de las temperaturas a la entrada de los rehervidores, después de las válvulas decalentadoras, de acuerdo a la medición dada por las termocuplas en los cabezales de vapor. Suponiendo que las condiciones operacionales para cada uno de los cabezales son 400 psig, 150 psig y 50 psig, se hallaron las temperaturas de saturación correspondientes a dichas condiciones, que fueron obtenidas desde tablas de vapor [7] y son 444 °F, 358 °F, 280 °F, respectivamente.

Debido a que la temperatura es función de la presión [8], esta temperatura, hallada a través de tablas de vapor, no brinda mucha exactitud por ser un valor constante, en el cual no se tienen en cuenta las fluctuaciones de presión en los cabezales a la entrada de la unidad.

Considerando el vapor como una sustancia pura [9], se puede aplicar la Ecuación 2 que corresponde a la ecuación de Antoine, relacionando la temperatura como una función de la presión [10]:

Ecuación 2

$$T_{sat} = \frac{B}{A - \text{Log}_{10}(P_{sat})} - C$$

Dónde:

**Tsat**= temperatura de saturación del vapor [°C]

**Psat**= presión del vapor [mmHg]

**A, B, C** = constantes de antoine [11]

Tabla 3. Constantes de antoine correspondientes a las condiciones operacionales que se manejan en alquilación

SUSTANCIA	A*	B*	C*	Tmin [°C]	Tmax [°C]
Agua	8.14019	1810.94	244.485	99	374

Finalmente utilizando la herramienta computacional EXCEL, se diseñó una hoja de seguimiento (ANEXO F), que grafica en tiempo real las condiciones de temperatura a la salida de las válvulas decalentadoras; además toma las condiciones de presión de los cabezales a la entrada de la unidad y de acuerdo a éstos, calcula la temperatura de saturación que debe ser controlada, graficándola igualmente en tiempo real.

Se entregó la hoja de seguimiento a los operadores del tablero de alquilación para que realizaran el seguimiento en tiempo real.

#### **3.4.2. Reflujo para las torres deisobutanizadora T-4562 y splitter T-4566.**

Inicialmente, se estudiaron de forma detallada las condiciones de operación de las torres según el libro de Diseño "Process Design Package Volume I & II" de Stracto.

Las variables operacionales importantes al momento de tener en cuenta en el funcionamiento de las torres y por lo tanto las que se analizaron fueron:

- Carga a la torre o alimentación
- Producción de alquilato
- Carga a reacción (para validar producción)
- Flujo de vapor

- Reflujo
- Producto de cima (Destilado)
- Presión de cima
- Temperatura de fondos

Fue registrado el comportamiento de las variables anteriormente expuestas en un periodo desde el 2011 hasta comienzos del 2014 en una hoja de EXCEL (ANEXO G). Usándose las variables de carga a reacción y carga a la torre para validar los registros de producción, depurando datos no confiables.

A partir de esto se encontraron valores promedio de carga, reflujo, producto de cima y relación de reflujo para las dos torres.

#### **3.4.3. Recuperación de la confiabilidad de las trampas de vapor de la unidad.**

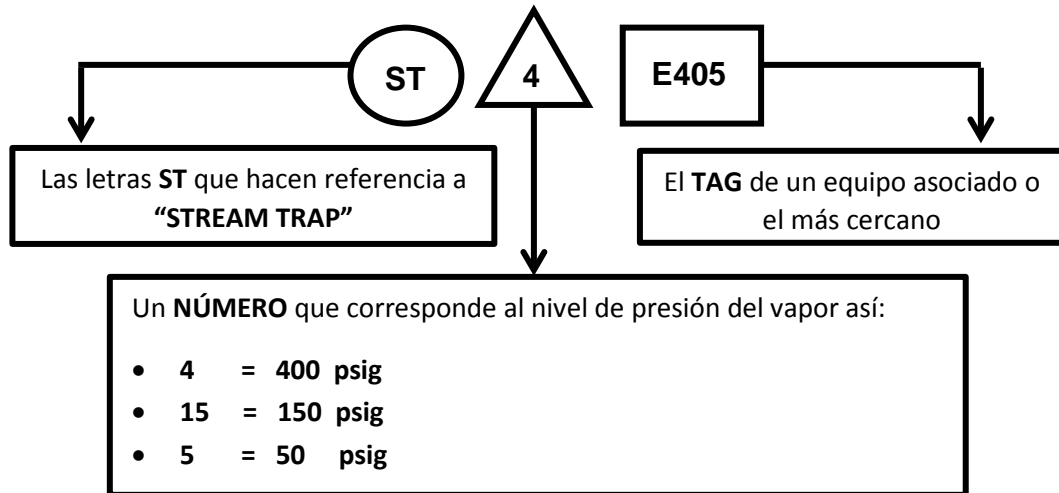
El desarrollo de este punto es la primera fase de la iniciativa de recuperación de los sistemas de trampas de la refinería, que más adelante se desea implementar en todos los departamentos.

Se siguieron 3 pasos, que son:

- 1. Identificación y tarjeteo de todas las trampas de alquilación[12]:** las trampas para vapor, así como cualquier otro equipo de la unidad, debe tener una identificación o un código con el cual se pueda referenciar para facilitar su ubicación en campo (ANEXO H); para esto se les asignó un TAG con la estructura mostrada en la Figura 2.
- 2. Diagnóstico de los sistemas en falla:** para diagnosticar los sistemas en falla, se revisó cada una de las 24 trampas, realizándoles una prueba de ultrasonido (ANEXO I).
- 3. Evaluación del Diagnóstico:** De acuerdo con toda la información obtenida a partir del diagnóstico, se elaboró un documento con el objetivo de tener el

listado de las trampas de la Unidad actualizado, en el que se describe la situación de las mismas.

Figura 2. TAG de Identificación para las trampas de vapor de alquilación.



Se elaboró el formato de una plantilla para ronda (ANEXO J), con el fin de llegar a tener un control periódico de los sistemas de trampas y así facilitar la detección temprana de fallas [12].

#### 3.4.4. Estrategias para la disminución del consumo de energía eléctrica.

Se realizó el análisis de la operación en modo economizador ya que representa el ahorro de aproximadamente el 7 % del requerimiento de energía eléctrica por parte del compresor [13].

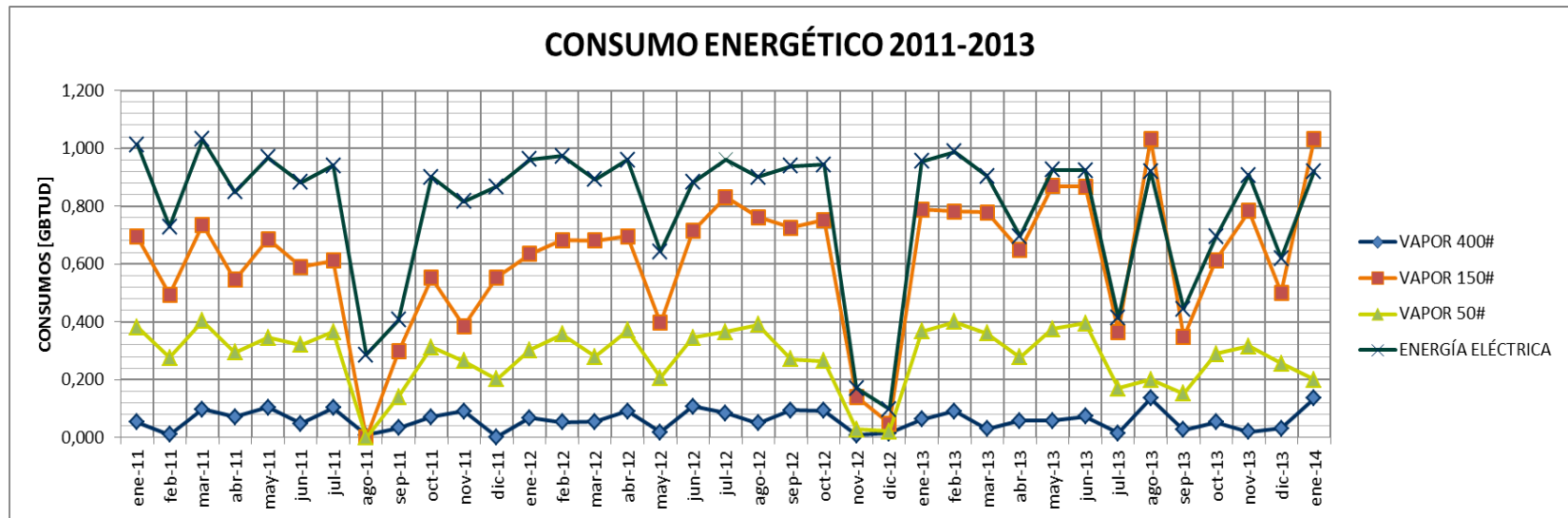
Se establecieron recomendaciones respecto a la operación en modo economizador, motor del compresor y motores de las bombas.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. PLANTEAMIENTO BASE

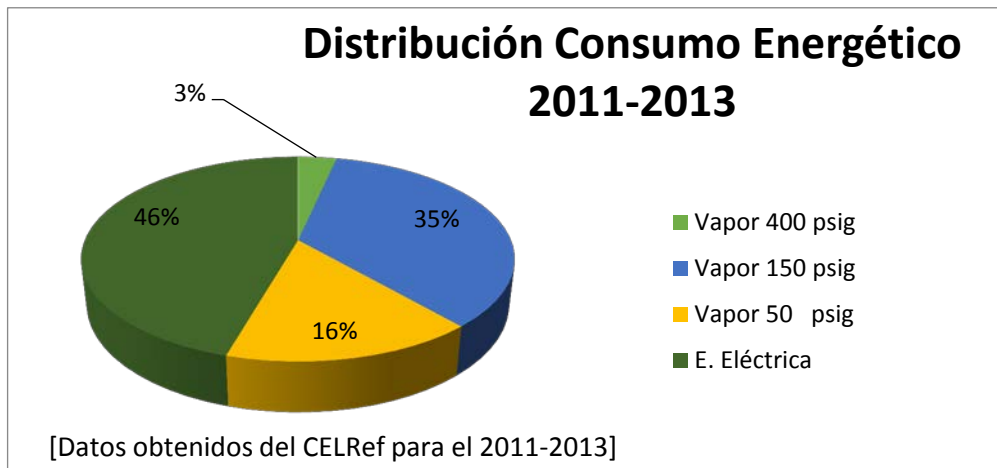
En la Gráfica 1, se describe la tendencia del consumo energético para el periodo establecido, observándose un comportamiento similar entre el vapor de 400 psig y el vapor de 150 psig, además de alto respecto a las otras variables.

Gráfica 1. Tendencia del consumo energético (2011-2013)



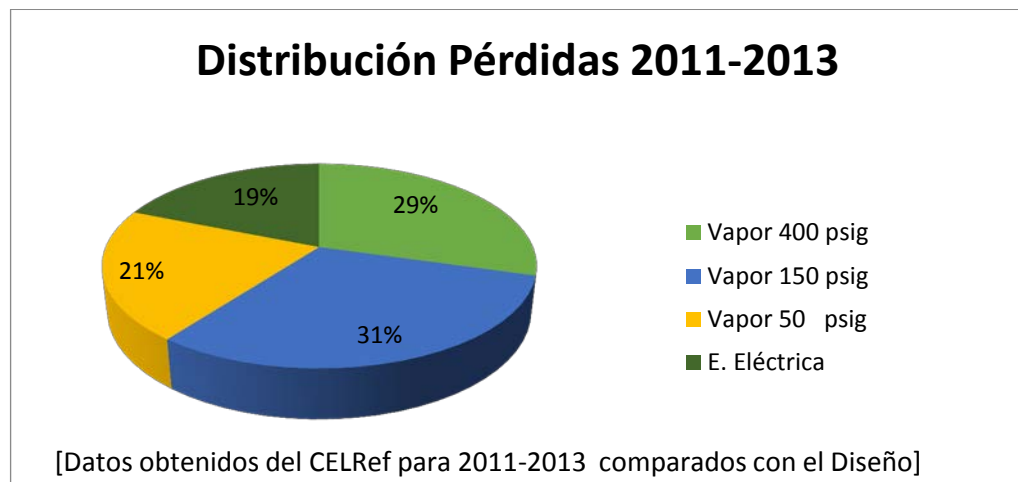
En la Gráfica 2, se representa el consumo en porcentajes, evidenciándose que la energía eléctrica y el vapor de 150 psig son los factores más influyentes en el consumo energético.

Grafica 2. Distribución consumo energético (2011-2013)



En la Gráfica 3, se representa el porcentaje de pérdidas, en donde se evidencia que el mayor porcentaje corresponde al vapor de 150 psig, seguido del vapor de 400 psig.

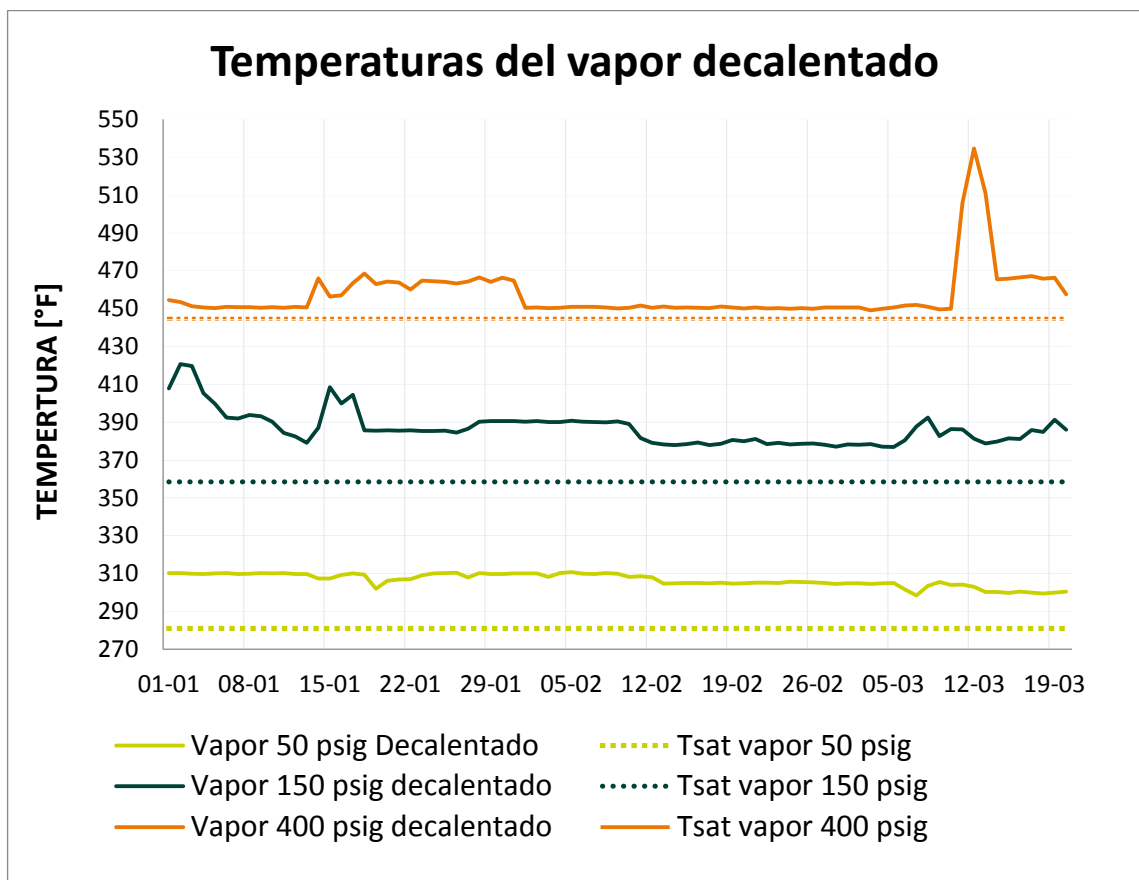
Grafica 3. Distribución pérdidas (2011-2013)



## 4.2. CONTROL DE TEMPERATURA EN LAS VÁLVULAS DECALENTADORAS

La Gráfica 4, muestra la tendencia de las condiciones de temperatura del vapor decaletado (temperaturas a la salida de las válvulas decaletadoras) para presiones de 400 psig, 150 psig y 50 psig, en donde se presenta un comportamiento variable, inestable y desviado de la temperatura de saturación, indicando que se tiene poco control sobre esta variable.

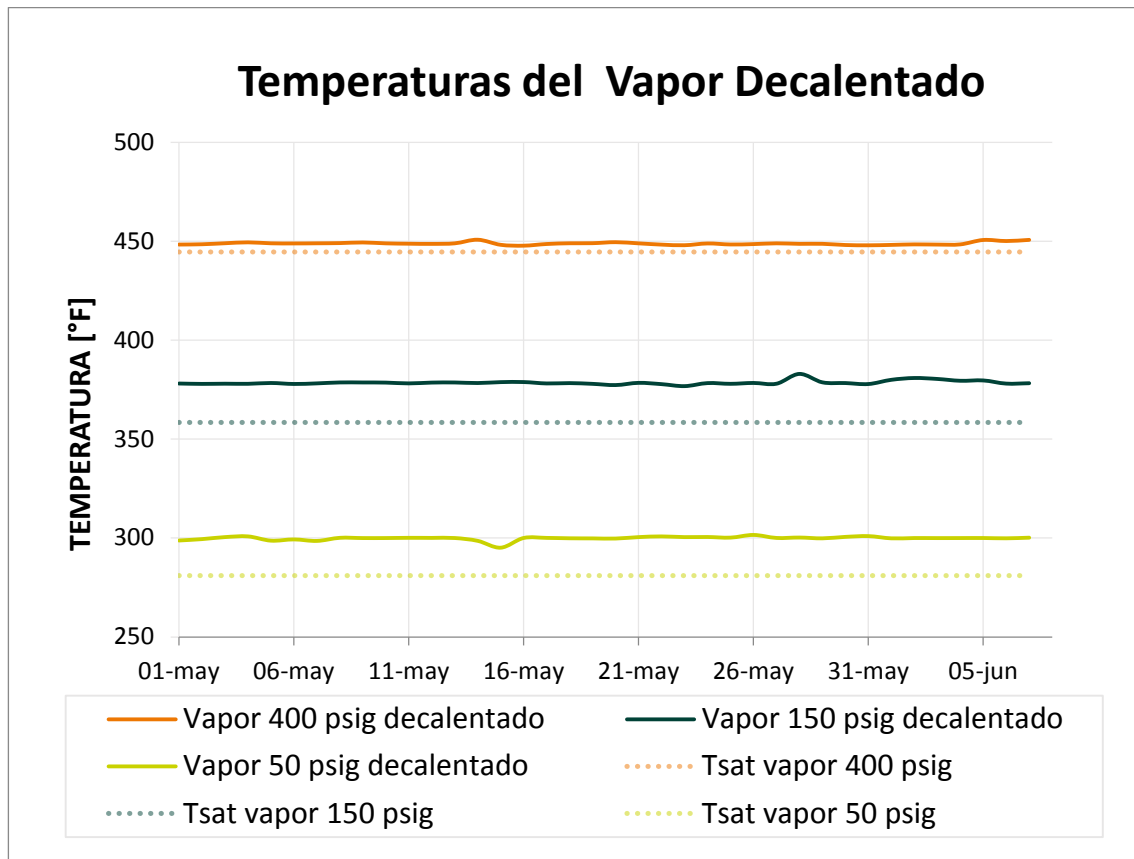
Gráfica 4. Tendencia temperaturas vapor decaletado (enero-marzo)



La Gráfica 5, muestra la tendencia de las temperaturas del vapor decaletado al realizarse el control, utilizando la hoja de seguimiento. En esta gráfica se observa un comportamiento más estable y con una menor desviación de las temperaturas

de saturación que la que se muestra en la Gráfica 4, indicando que se realizó un control en las válvulas de calentamiento.

Gráfica 5. Tendencia temperaturas vapor decaentado (mayo-junio)



### 4.3. RELACIONES DE RELUJO PARA LAS TORRES DEISOBUTANIZADORA T-4562 Y SPLITTER T-4566

En las Tablas 4 y 5, están descritos los valores promedio de carga, reflujos, producto de cima y relación de reflujo para las dos torres, correspondientes al periodo de estudio.

Tabla 4. Promedios de los datos para la torre deisobutanizadora (2011-2013)

<b>DEISOBUTANIZADORA T-4562</b>			
<b>CARGA A LA TORRE</b>	<b>REFLUJO</b>	<b>PRODUCTO DE CIMA</b>	<b>RELACIÓN DE REFLUJO</b>
<b>BPD</b>	<b>BPD</b>	<b>BPD</b>	
9966	13118	10982	1,2

Tabla 5. Promedios de los datos para la torre splitter (2011-2013)

<b>SPLITTER DE ISOBUTANO/BUTILENOS T-4566</b>			
<b>CARGA A LA TORRE</b>	<b>REFLUJO</b>	<b>PRODUCTO DE CIMA</b>	<b>RELACIÓN DE REFLUJO</b>
<b>BPD</b>	<b>BPD</b>	<b>BPD</b>	
2994	9778	1264	9,0

Se observa una relación de reflujo muy alta comparada con la que indica el diseño, siendo de 0,85 y 3,5 [14] para las torres deisobutanizadora y splitter, respectivamente.

El reflujo para la operación de la deisobutanizadora requiere ser del 46% [15] del volumen contenido en el tambor acumulador de cima, cumpliendo con la relación de reflujo establecida por el diseño, que indica un valor de 0,85.

Por otro lado, el reflujo para la operación de la torre splitter requiere ser del 78% [16] del volumen contenido en el tambor acumulador de cima, cumpliendo con la relación de reflujo establecida por el diseño, que indica un valor de 3,5.

En las Tablas 6 y 7, están descritos los valores promedio de carga, reflujo y producto de cima que cumplen con la relación de reflujo establecida por el diseño.

Tabla 6. Valores promedio que cumplen con la relación de reflujo según diseño para la DIB (T-4562)

<b>DEISOBUTANIZADORA T-4562</b>				
<b>CARGA A LA TORRE</b>	<b>LIQUIDO EN D-4572</b>	<b>REFLUJO</b>	<b>PRODUCTO DE CIMA</b>	<b>RELACIÓN DE REFLUJO</b>
9966	22314	10264	12050	0,85

Tabla 7. Valores promedio que cumplen con la relación de reflujo según diseño para la splitter (T-4566)

<b>SPLITTER DE ISOBUTANO/BUTILENOS T-4566</b>				
<b>CARGA A LA TORRE</b>	<b>LIQUIDO EN D-432</b>	<b>REFLUJO</b>	<b>PRODUCTO DE CIMA</b>	<b>RELACIÓN DE REFLUJO</b>
2994	11043	8613	2429	3,55

#### **4.4. RECUPERACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LAS TRAMPAS DE VAPOR DE LA UNIDAD**

El total de trampas identificadas y diagnosticadas fue de 24.

La Tabla 8, representa los resultados del diagnóstico para cada trampa, donde se muestra el listado de trampas de vapor, la identificación de cada una, el tamaño, el modelo, la presión de vapor, el rango de temperatura que maneja, la existencia de aislamiento, el estado y las observaciones.

Tabla 8. Resultados del diagnóstico realizado a las trampas de vapor de la unidad

Departamento de Cracking II Alquilación U-4560 Listado de Trampas para Vapor										
N°	Tag	Ubicación	Size	Modelo	Orient.	Vapor (psig)	Rango Temp. °F	Aislamiento	Estado	Observaciones
1	ST-5-CE405	Columna junto al E-405	1/2"	TD42L	H	50	380-420 °F	SI	OK	Descarga cada 30 segundos
2	ST-5-FT4566	Fondo Torre T-4566	1/2"	TD42L	H	50	380-420 °F	SI	OK	Descarga cada 1 min 12 S
3	ST-5-E405	Vapor a E-405	1/2"	TD42L	H	50	380-420 °F	SI	ME	Trampa Directa
4	ST-5-E4564	Vapor a E-4564	1/2"	TD42L	H	50	380-420 °F	SI	BQ	Válvulas de corte cerradas
5	ST-5-E4575	Junto al E-4575	1/2"	TD42L	H	50	380-420 °F	SI	OK	Descarga cada 48 s
6	ST-4-E4583	Vapor a E-4583	1/2"	TD42L	H	400	650-840 °F	SI	ME	Trampa Directa / Fuga al medio ambiente
7	ST-15-E4567	Vapor a E-4567 (T-4563)	1/2"	TD42L	H	150	450-530 °F	NO	BQ	Válvulas de corte cerradas
8	ST-15-E4566	Vapor a E-4566 (T-4562)	1/2"	TD42L	H	150	450-530 °F	NO	BQ	Válvulas de corte cerradas
9	ST-15-CT4562A	Columna junto a T-4566	1/2"	TD42L	H	150	450-530 °F	SI	BQ	Válvulas de corte cerradas
10	ST-4-CT4562B	Columna junto a T-4566	1/2"	TD42L	H	400	650-840 °F	NO	BQ	Válvulas cerradas
11	ST-5-CE4580	Columna junto a E-	1/2"	TD42L	H	50	380-420 °F	SI	BQ	Válvulas de corte cerradas

		4580								
12	ST-4-E4582A	Bajo al E-4582	3/4"	TD42L	H	400	650-840 °F	NO	BQ	Válvulas de corte cerradas
13	ST-4-E4582B	Bajo al E-4582	3/4"	TD42L	H	400	650-840 °F	NO	BQ	Válvulas de corte cerradas / Valvula con pase que ocasiona golpe de ariete
14	ST-4-E4577	Bajo al E-4577	2"	Flotador	H	400	650-840 °F	NO	BQ	Equipo fuera de servicio, Válvulas de corte cerradas
15	ST-4-CR4561CA	Columna pasillo central junto al R-4561 C	1/2"		H	400	650-840 °F	NO	ME	Fuga al medio ambiente en la linea
16	ST-5-CR4561CB	Columna pasillo central junto al R-4561 C	1/2"		H	50	380-420 °F	SI	ME	Trampa Directa
17	ST-4-MP4582B	Columna pasillo central junto a MP-4582B	1/2"		H	400	650-840 °F	NO	ME	Trampa Directa / Fuga al medio ambiente
18	ST-5-MP-4565A	Columna pasillo central junto MP-4565A	1/2"	TD42L	H	50	380-420 °F	NO	ME	Trampa Directa / Fuga al medio ambiente
19	ST-5-MP4562A	Columna pasillo central junto a MP-4562A	1/2"	TD42L	H	50	380-420 °F	SI	IT	Trampa Intermitente
20	ST-15-X4566	Columna pasillo centrar junto a X-4566	1/2"	TD42H	H	150	450-530 °F	SI	IT	Trampa Intermitente

21	ST-15-NP4592B	Viaducto junto a NP-4592B	1/2"		H	150	450-530 °F	NO	IT	Trampa Intermitente
22	ST-4-H0149A	Viaducto junto al Hidrante H-0149	1/2"		H	400	650-840 °F	NO	ME	Fuga en la bota / Trampa Directa- Trampa con pase
23	ST-15-H0149B	Viaducto junto al Hidrante H-0149	1/2"		H	150	450-530 °F	NO	ME	Trampa Directa
24	ST-15-MP4569A	Columna pasillo central junto a MP-4569A	1/2"		H	pendiente		NO	ME	Escape al medio ambiente (critico) /Trampa Directa
PARAMETROS		OK = EN BUEN ESTADO				ME = MAL ESTADO				REALIZADO POR: Erika Daniela Manrique Rueda
		BQ = BLOQUEADA				IT = INTERMITENTE				Estudiante en Práctica de Ing. Química UIS

A partir de este diagnóstico se determina que el 90 % de las trampas se encuentran en falla. En la Tabla 9 se muestran las pérdidas de vapor y económicas que representa el estado en falla.

Tabla 9. Pérdidas por trampas en Falla

TRAMPA	Fuga de Vapor [KLb/h]	Costo Pérdidas [USD\$/año]
Vapor 400 psig	0,28	11036
Vapor 150 psig	0,15	4946
Vapor 50 psig	0,16	4380

Se determinó que 12 trampas requieren cambio inmediato. La Ingeniera Metalúrgica, Liseth Zamudio evaluó y aprobó el cambio a trampas termodinámicas TD42L y TD42H de Spirax Sarco [17]. La compra fue aprobada por el Jefe de Departamento y se espera la llegada del pedido y el plan de mantenimiento próximo.

#### 4.5. ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

##### 4.5.1. Análisis dela operación en modo economizador.

La puesta en servicio del economizador se efectuó el 14 de febrero de 2014, luego de una semana de operación, se sacó de servicio debido a los siguientes factores

- Aumento del requerimiento energético del compresor: para el periodo de operación en modo sin economizador se dio una tendencia en el amperaje del compresor algo inestable y fluctuante; luego de la puesta en servicio del equipo se evidenció cierta estabilidad de la medición aunque con un aumento en la corriente.
- Nivel fluctuante del economizador: la variación en nivel del economizador presentó un comportamiento variable y con poca estabilidad.

- Aumento en el nivel del lado trampa del tanque acumulador de refrigerante: el nivel aumentó debido al aumento fluctuante del nivel del economizador y a la excesiva cantidad de refrigerante condensado
- Aumento del flujo de descarga del compresor: debido al aumento en los livianos evaporados en el economizador, que presionaban y aumentaban la masa de entrada al compresor en la etapa intermedia.

#### 4.6. RELACIONES CONSUMO/PRODUCCIÓN (MAYO-JUNIO)

La Tabla 10, representa datos de consumo para los meses de mayo y junio, además representa las relaciones consumo/producción para el mismo periodo como indicadores de medio en donde se evaluó el desempeño energético, comparándolo con los planteados en la línea base, evidenciándose una disminución de 491,49 lb/barril de alquilato a 435, 50 lb/barril de alquilato para el vapor de 150.

Tabla 10. Relaciones consumo/producción (mayo-junio).

TEMA	UNIDAD	MAYO-JUNIO	VALOR IDEAL	
Producción de Alquilato	B/D	1449,70*	7067**	
Factor de Utilización	%	20,51*	84**	
Consumo de Vapor	400 psig	Lb/h	22,33*	1449**
	150 psig	Lb/h	26306,03*	54773**
	50 psig	Lb/h	11727,28*	17059**
Consumo de E.E	MW/h	3,5827*	4,38**	
Relación Lb Vapor/ Producción	400 psig	Lb/bbl	0,37	4,92
	150 psig	Lb/bbl	435,50	186,01
	50 psig	Lb/bbl	194,15	57,93
Relación MW/bbl	MW/bbl	0,05931	0,01487477	

\* Valores promedio, \*\* Valores Ideales tomados de especificaciones de diseño

## CONCLUSIONES

Al realizarse el control, utilizando la hoja de seguimiento se obtuvo un comportamiento más estable y con una menor desviación de las temperaturas de saturación establecidas mediante tablas de vapor, indicando que se realizó un control en las válvulas decalentadoras.

El aumento en los requerimientos de calor se debe a los reflujos que se han venido manejando para la torre deisobutanizadora y splitter, proporcionando una relación de reflujo casi 2 o 3 veces por encima de la de diseño.

Las pérdidas del 29% del vapor de 400 psig se deben a la gran cantidad de escapes en las líneas de condensado de alta presión, esto gracias al estado en falla del 90% de las 24 trampas existentes en la unidad.

Se disminuyó la relación consumo/producción correspondiente al vapor de 150 psig desde de 491,49 lb/barril de alquilato a 435, 50 lb/barril de alquilato.

La recuperación de los sistemas de trampas que requieren cambio inmediato representarán un ahorro de 20362 USD/año en cuanto a la corrección de fugas de vapor de 400 psig, 150 psig y 50 psig. Además representará también un ahorro en costos de instalación de andamios, costo en personal y pérdidas en producción por paradas de planta frecuentes para mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

- Asegurar la divulgación de las lecciones aprendidas, luego de realizar un proyecto, para resaltar aspectos positivos y negativos, dificultades que se pudieron presentar, la forma como fueron abordadas, conclusiones y sugerencias para efectuar una mejora continua.
- Asegurar la confiabilidad de los sistemas de medición de temperatura y presión antes y después de las válvulas decalentadoras.
- Asegurar el mantenimiento efectivo de las válvulas decalentadoras en cada parada de planta o en caso de falla y/o taponamiento de aspersores.
- Se recomienda instalar trampas en botas de línea de condensado, antes y después de las válvulas de control, cabezales de vapor entrada a alquiler, viaducto límite de baterías.
- Realizar mantenimiento a 9 trampas de vapor.
- Arreglar aislamientos en mal estado de las líneas y poner a las que carecen de él.
- Se recomienda el uso de una plantilla para la ronda, la cual se llevará a cabo 1 vez al mes por parte del operador de turno.
- Al momento de poner en marcha el economizador, se debe asegurar que la curva de operación de este cambie a Modo Economizador.

- Debe operar como mínimo 1 mes para poder hacer un seguimiento y un control a las variables importantes dentro de ese sistema.
- Realizar un estudio de factibilidad para implementar motores con velocidad variable, los cuales se acomodan a los requerimientos de carga. Ventajas: Provee control preciso del Proceso, aumento de la confiabilidad del proceso, elimina el uso de dispositivos de estrangulamiento como válvulas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ECOPETROL, S.A. Reporte Integrado de Gestión Sostenible. Bogotá. Maria del Pilar Jaramillo, Ariel Suárez Gómez, Juan Pablo Pacavita, Juan Guillermo Londoño. 2014.

[2] ECOPETROL, S.A. Manual de Descripción del Proceso de la Unidad. GCB- Unidad de Cracking UOP 2 (URC/URU/UREE). Barrancabermeja. 2007. p. 44-45.

[3] [Citado el 18 de Noviembre de 2014] Disponible en < <http://www2.energyintel.com/l/19202/2014-11-18/gp3qp> >

[4] ECOPETROL, S.A. Manual de Descripción del Proceso de la Unidad. GRB Unidad de Alquiler. Barrancabermeja. 2007. p.53

[5] GOMEZ, Philippe. User manual Corrected Energy and Loss (CEL) monitoring system. Shell Global Solutions – OGCP/2. 2001. p. 5.

[6] GOMEZ, Philippe. User manual Corrected Energy and Loss (CEL) monitoring system. Shell Global Solutions – OGCP/2. 2001. p. 6.

[7] CENGEL. Yunes A, BOLES. Michael A. Tabla de Propiedades, Figuras y Diagramas (Unidades Inglesas). Tabla A-5E. En Termodinámica. Séptima Edición. 2011. p. 966.

[8] CENGEL. Yunes A, BOLES. Michael A. Termodinámica. Séptima Edición. México. 2001. p. 115-116.

[9] CENGEL. Yunes A, BOLES. Michael A. Termodinámica. Séptima Edición. México. 2001. p. 112-113-114.

- [10] WICHTERLE I., LINEK J. Physics Related to Anesthesia. Jhon D. Conent, M.D. p. 184.
- [11] WICHTERLE I., LINEK J. Physics Related to Anesthesia. Jhon D. Conent, M.D. p. 186.
- [12] COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. Guía de Vapor para la Industria. Octubre de 2002. p. 11-12.
- [13] STRATCO INC. Process Desing Package. Effluent Refrigerated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Alkylation Process. Volume I. 1997.p. 43.
- [14] STRATCO INC. Process Desing Package. Effluent Refrigerated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Alkylation Process. Volume I. 1997.p. 22.
- [15] STRATCO INC. Process Desing Package. Effluent Refrigerated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Alkylation Process. Volume I. 1997.p. 40.
- [16] STRATCO INC. Process Desing Package. Effluent Refrigerated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Alkylation Process. Volume I. 1997.p. 47.
- [17] SPIRAX SARCO. Trampa Termodinámica para Vapor TD42L y TD42H. TI-S01-03. Colombia. 2007.

## BIBLIOGRAFIA

[Citado el 18 de Noviembre de 2014] Disponible en <  
<http://www2.energyintel.com/l/19202/2014-11-18/gp3qp> >

CENGEL. Yunes A, BOLES. Michael A. Tabla de Propiedades, Figuras y Diagramas (Unidades Inglesas). Tabla A-5E. En Termodinámica. Séptima Edición. 2011. p. 966.

CENGEL. Yunes A, BOLES. Michael A. Termodinámica. Séptima Edición. México. 2001. p. 115-116.

CENGEL. Yunes A, BOLES. Michael A. Termodinámica. Séptima Edición. México. 2001. p. 112-113-114.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. Guía de Vapor para la Industria. Octubre de 2002. p. 11-12.

ECOPETROL, S.A. Manual de Descripción del Proceso de la Unidad. GCB-Unidad de Cracking UOP 2 (URC/URU/UREE). Barrancabermeja. 2007. p. 44-45.

ECOPETROL, S.A. Manual de Descripción del Proceso de la Unidad. GRB Unidad de Alquilación. Barrancabermeja. 2007. p.53

ECOPETROL, S.A. Reporte Integrado de Gestión Sostenible. Bogotá. Maria del Pilar Jaramillo, Ariel Suárez Gómez, Juan Pablo Pacavita, Juan Guillermo Londoño. 2014.

GOMEZ, Philippe. User manual Corrected Energy and Loss (CEL) monitoring system. Shell Global Solutions – OGCP/2. 2001. p. 5.

GOMEZ, Philippe. User manual Corrected Energy and Loss (CEL) monitoring system. Shell Global Solutions – OGCP/2. 2001. p. 6.

SPIRAX SARCO. Trampa Termodinámica para Vapor TD42L y TD42H. TI-S01-03. Colombia. 2007.

STRATCO INC. Process Desing Package. Effluent Refrigerated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Alkylation Process. Volume I. 1997.p. 43.

STRATCO INC. Process Desing Package. Effluent Refrigerated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Alkylation Process. Volume I. 1997.p. 22.

STRATCO INC. Process Desing Package. Effluent Refrigerated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Alkylation Process. Volume I. 1997.p. 40.

STRATCO INC. Process Desing Package. Effluent Refrigerated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Alkylation Process. Volume I. 1997.p. 47.

WICHTERLE I., LINEK J. Physics Related to Anesthesia. Jhon D. Conent, M.D. p. 184.

WICHTERLE I., LINEK J. Physics Related to Anesthesia. Jhon D. Conent, M.D. p. 186.

## ANEXOS

### ANEXO A. Descripción de la unidad de alquilación

La unidad de alquilación está diseñada para ser operada por 3 años mínimos entre paradas; hasta el 2011 lleva 9 años en servicio. Se dispone de un área de 8.000 metros cuadrados para ésta y actualmente, la demanda nacional Colombiana de gasolina para aviación es aproximadamente 250 barriles por día.

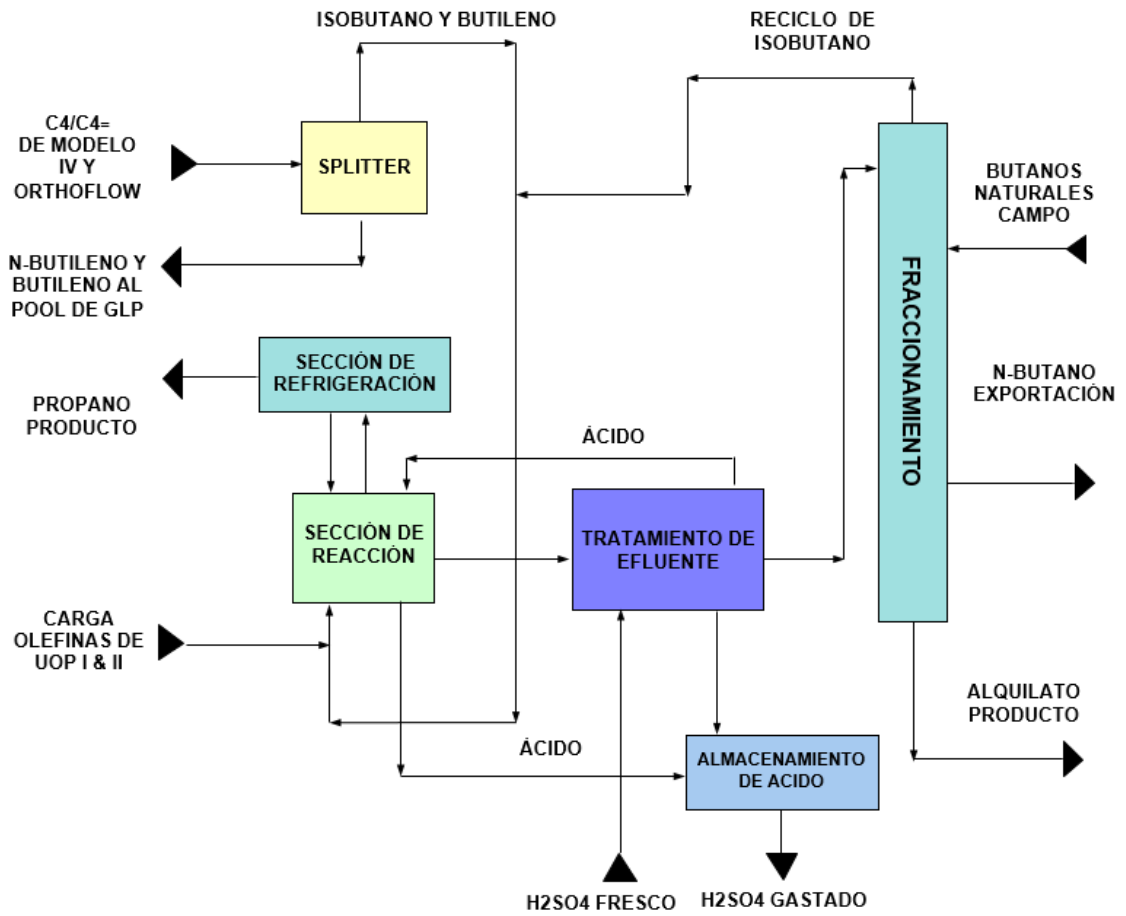
Para mayor eficiencia se instalaron 2 secciones de tratamiento a la carga que llega a la unidad de alquilación, las cuales actualmente no están en servicio. Estas son:

- **Sección de Merox:** neutraliza y elimina los compuestos ácidos presentes en las corrientes de carga por el contacto con soda mediante un proceso de extracción líquido-líquido.
  
- **Sección de Hidroisomerización:** convierte el butadieno presente en las corrientes de carga a olefinas mediante una reacción con hidrogeno para enviarlas hacia los contactores de la unidad. (esta sección no funciona hace 7 – 8 años, por problemas en el compresor y grandes costos por su consumo en energía).
  
- **Sección de Carga:** balancea las corrientes que alimentan la unidad para obtener una composición adecuada de olefinas e isobutano para la producción del alquilato.
  
- **Sección de Reacción:** el isobutano y las olefinas presentes en la corriente de hidrocarburos proveniente de la sección de carga, reaccionan en los Contactores produciendo el alquilato y demás productos de la unidad. Se utiliza

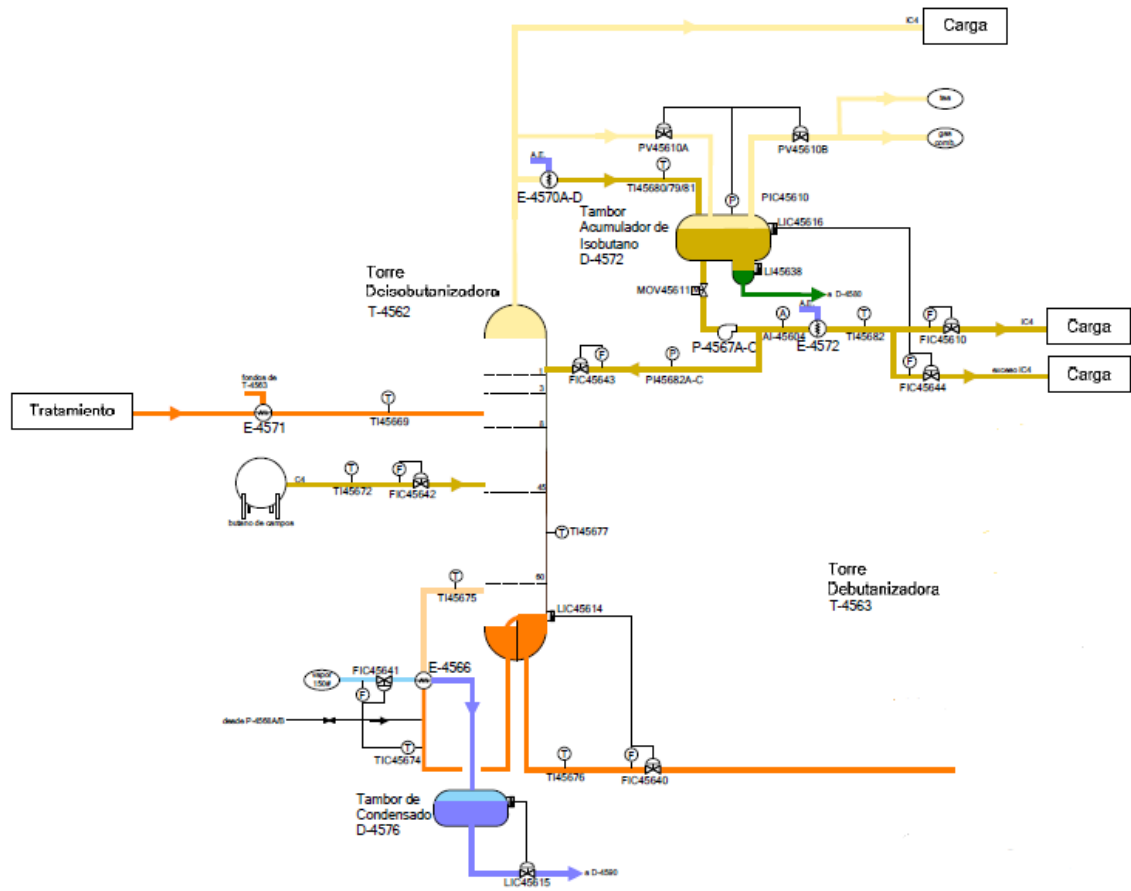
el ácido sulfúrico como catalizador para promover la reacción y formación del alquilato.

- **Sección de Separación:** separa el hidrocarburo del ácido gastado procedente de los sedimentadores (equipo al que llega la corriente de salida de los contactores). Las corrientes de hidrocarburo se dirigen hacia el sistema contactores-sedimentadores y la corriente de ácido gastado a almacenamiento.
  
- **Sección de Refrigeración:** separa los livianos del efluente de los contactores y hay recirculación del refrigerante (isobutano) hacia la sección de reacción.
  
- **Sección de Tratamiento:** separa el ácido libre y los sulfatos de alquilo y dialquilo de la corriente efluente de los contactores; sus remanentes son separados al hacer contacto con un lecho conformado por bauxita, esto para minimizar el ensuciamiento y corrosión de los equipos en la sección de fraccionamiento.
  
- **Sección de Fraccionamiento:** separa los productos (isobutanos, butano, alquilato) de la unidad contenidos en el efluente neto mediante columnas de destilación.

## ANEXO B. Esquema general del proceso de alquilación

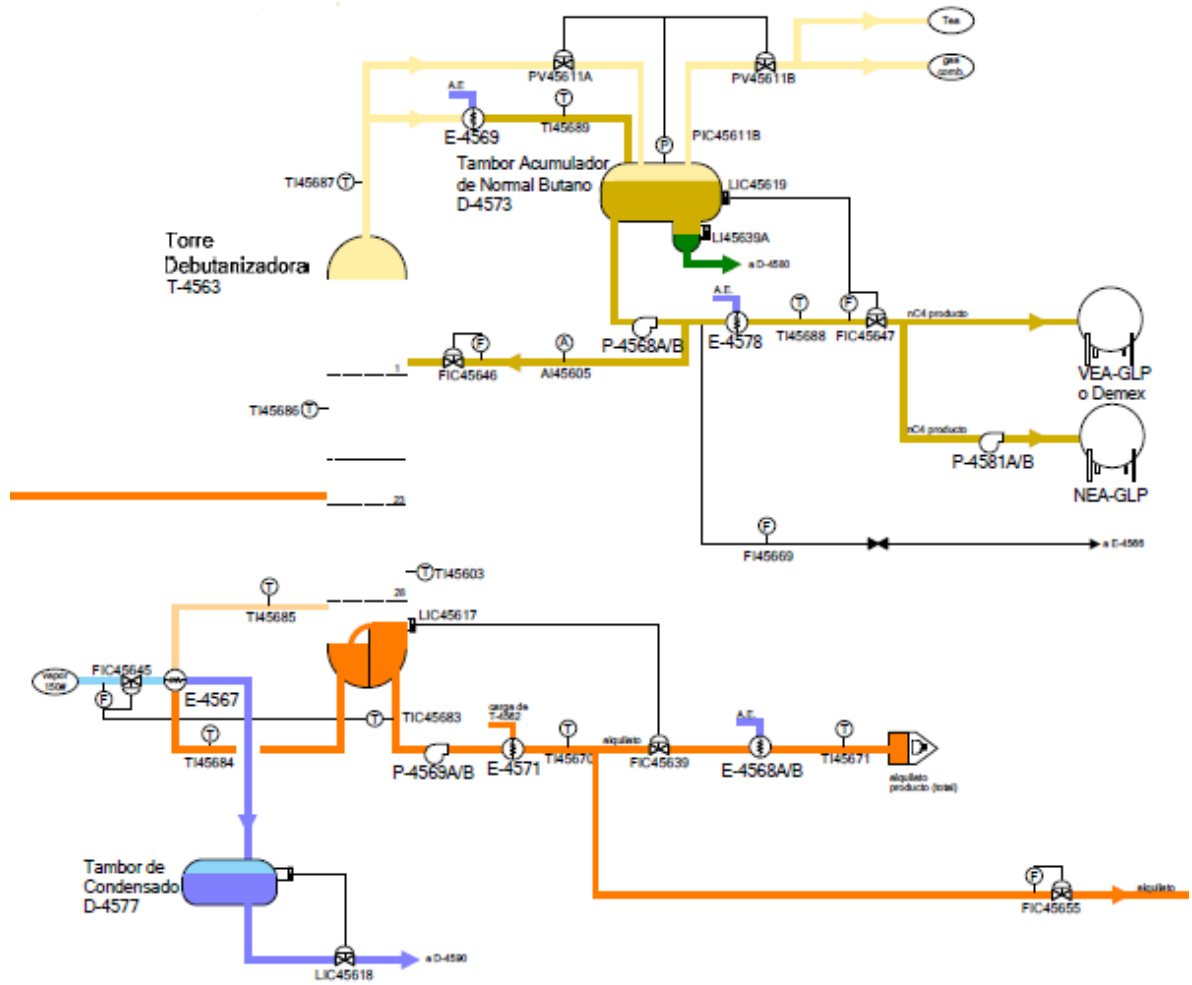


## ANEXO C. Esquema del proceso de separación de isobutano (T-4562)



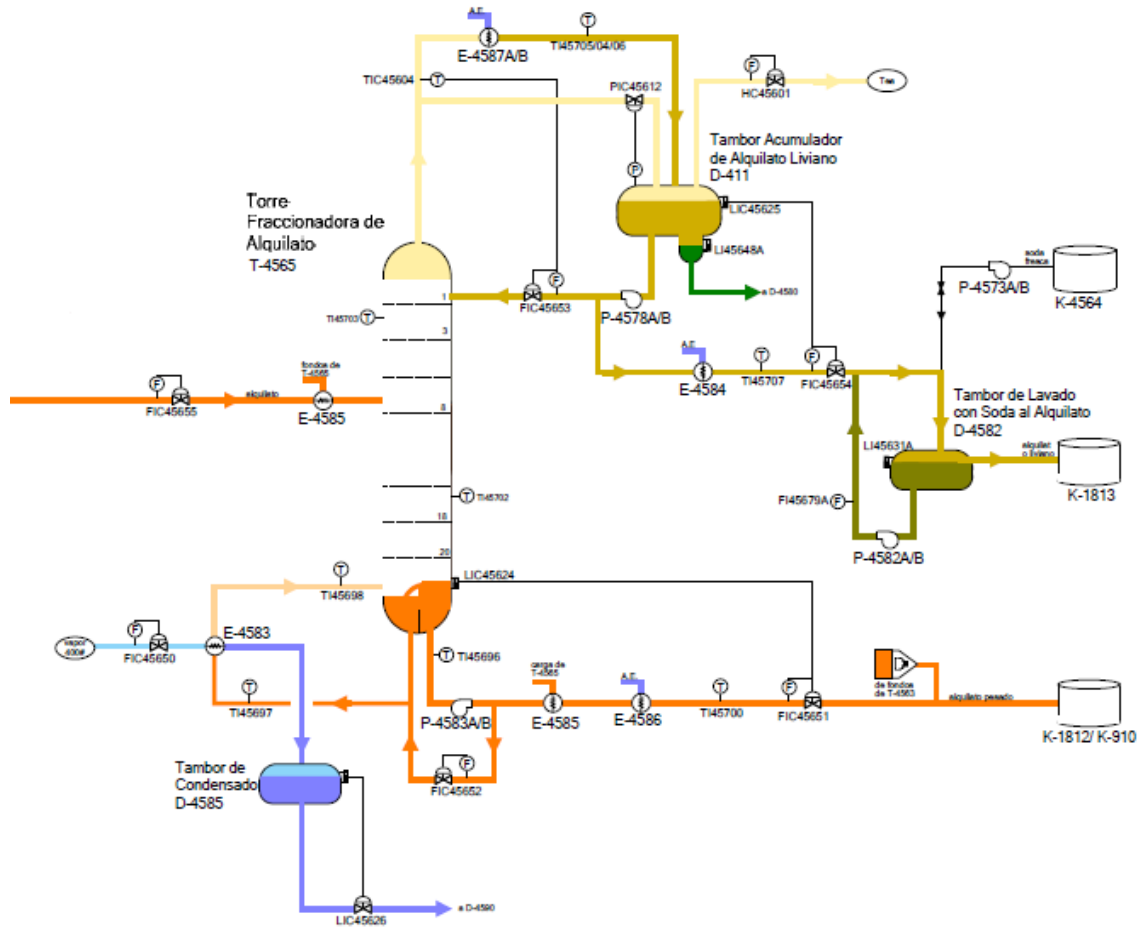
FUENTE: Manual de Descripción de Procesos de la Unidad de Alquilación.

## ANEXO D. Esquema del proceso de separación de butano (T-4563)



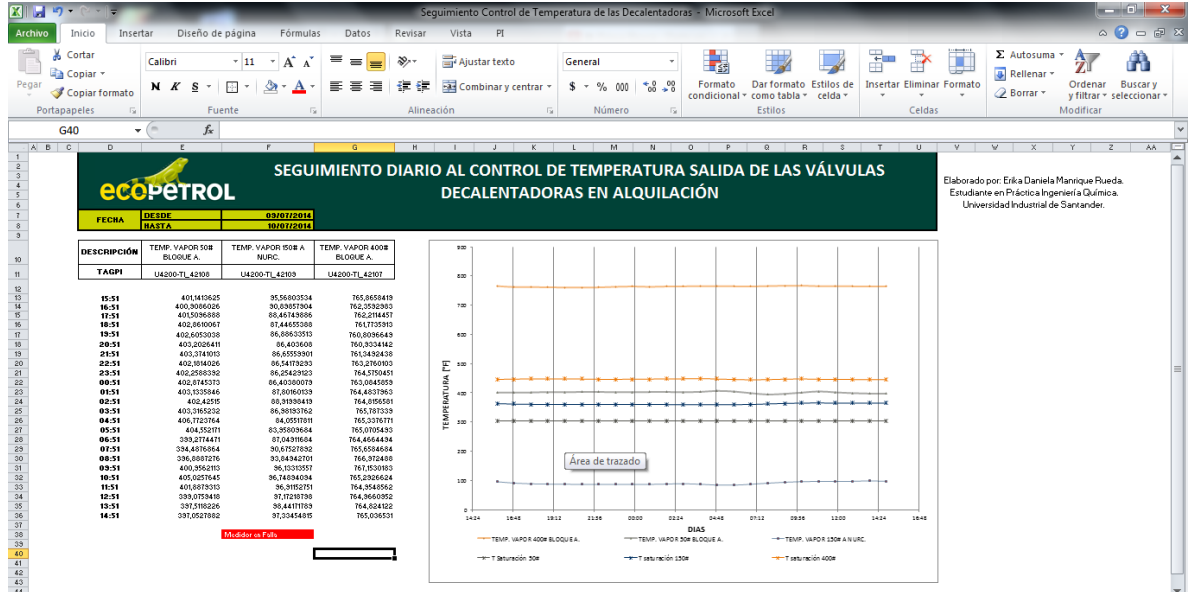
FUENTE: Manual de Descripción de Procesos de la Unidad de Alquilación.

## ANEXO E. Esquema del proceso de separación de alquilato (T-4565)

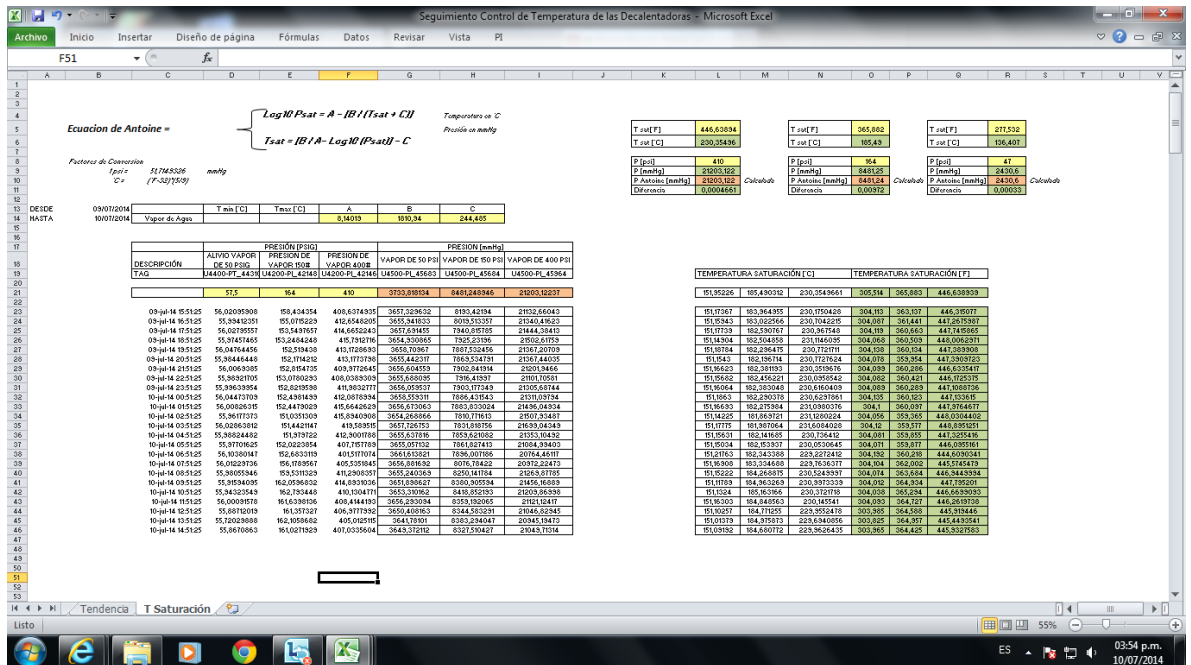


FUENTE: Manual de descripción de procesos de la unidad de alquilación.

# ANEXO F. Herramienta para el seguimiento diario al control de temperatura de las válvulas decalentadoras



Elaborado por: Erika Daniela Manrique Pineda  
Estudiante en Prácticas Ingeniería Química.  
Universidad Industrial de Santander.





**ANEXO H. Identificación y tarjeteo de las trampas de vapor**



**ANEXO I. Realización de las pruebas de ultrasonido para diagnóstico de trampas de vapor**



