

PRACTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

# OPERACIÓN DE TORRE DE DESTILACIÓN AL VACÍO

ALUMNO: Mazzini, Julio C.  
AÑO: 2015

# ÍNDICE

<b>Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>Plan de trabajo.....</b>	<b>3</b>
<b>Conceptos teóricos acerca del proceso de destilación al vacío.....</b>	<b>4</b>
Proceso de destilación.	
Destilación Fraccionada	
Destilación al vacío.	
<b>Aplicación practica de la PPS.....</b>	<b>8</b>
Tareas desarrolladas.	
Operación de la torre fraccionadora.	
<b>Conclusiones.....</b>	<b>17</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>20</b>

## **INTRODUCCIÓN**

La Practica Profesional Supervisada (PPS) que se presenta consiste en detallar las acciones llevadas a cabo en la operación de la torre fraccionadora de una unidad de destilación al vacío de crudo reducido.

La PPS se desarrolló en la empresa YPF S.A., Refinería La Plata, Área Lubricantes, en donde el alumno actualmente se desempeña como operador de campo.

Debido a cuestiones relacionadas con resguardar la privacidad, se aclara que los procesos detallados en esta presentación pueden diferir de los reales.

No obstante, las acciones detalladas y los conceptos teóricos introducidos se pueden aplicar en su mayor parte a cualquier unidad de destilación de productos de petróleo, de la cual existe abundante bibliografía.

## **PLAN DE TRABAJO**

El plan de trabajo, teniendo en cuenta que el alumno posee conocimientos acerca del proceso y las instalaciones de la Unidad de Destilación al Vacío, consistió en las siguientes acciones:

- Capacitación teórica en productos de petróleo y procesos de destilación.
- Capacitación en sistema de control de la torre fraccionadora. Reconocimiento de las variables manipuladas y controladas. Interacción entre ellas.
- Conocimiento de las especificaciones de calidad que deben cumplir los productos.
- Aplicación practica de la capacitación, supervisada por operador de consola de la Unidad.

# **CONCEPTOS TEORICOS ACERCA DEL PROCESO DE DESTILACIÓN**

## **PROCESO DE DESTILACIÓN**

La destilación es un método para separar los componentes de una mezcla líquida. Depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida, y se aplica a los casos en que todos los componentes a separar están presentes en las dos fases.

La fuerza impulsora para que ocurra la transferencia de masa de un componente entre las fases vapor y líquida puede considerarse como la diferencia de concentración de ese componente entre las fases. Cuando se alcanza las concentraciones del equilibrio, no hay transferencia neta de masa del componente al que se hace referencia.

Por lo tanto, para analizar un proceso de destilación es necesario conocer las relaciones de equilibrio de cada componente entre las fases.

Para describir las concentraciones de las fases puede utilizarse la presión parcial para la fase vapor y concentración en fracción molar para la fase líquida. En sistemas de comportamiento ideal, puede utilizarse la ley de Dalton, la ley de Raoult y la ley de Henry para describir los equilibrios.

En sistemas reales, el equilibrio para cada componente va a ser función de la composición del sistema, de la concentración de cada componente, de la presión y de la temperatura.

## **DESTILACIÓN FRACCIONADA.**

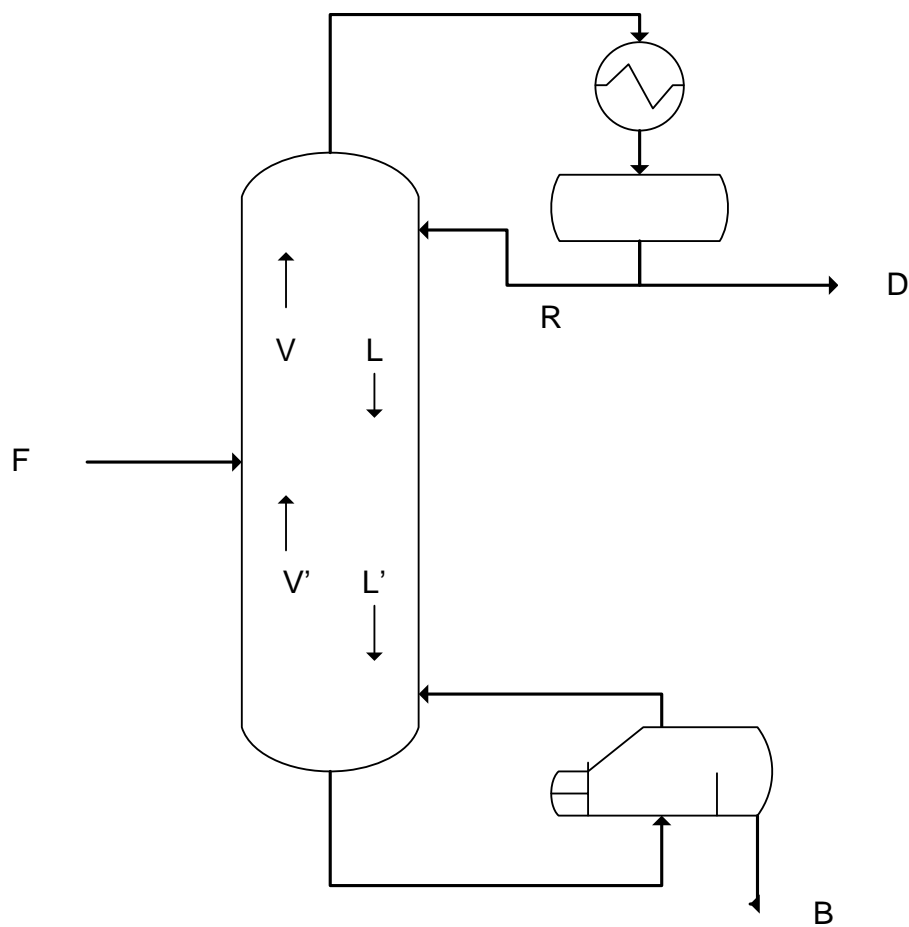
La rectificación continua, o fraccionamiento, es una operación de destilación a contracorriente en varias etapas.

Una etapa puede considerarse como una parte del equipo en donde se ponen en contacto las fases líquido y vapor, y en donde la transferencia de masa ocurre entre las fases que tienden a alcanzar el equilibrio.

Una etapa ideal o teórica es aquella en donde el tiempo de contacto entre las fases es tal que el líquido y el vapor que abandona la etapa están en equilibrio. Como su nombre lo indica, una etapa teórica es una idealización utilizada con propósitos de diseño, aunque en algunos casos se puede estar muy cerca si las consideraciones económicas lo permiten.

Cada proceso puede considerarse ya sea en base al número de etapas que representa o en función de la rapidez de transferencia de masa.

Tomando como ejemplo el fraccionamiento de mezclas binarias, en la figura se observa el equipo típico:



El proceso puede describirse de la siguiente manera: el vapor que se eleva en la sección arriba de la alimentación (llamada sección de rectificación) se lava con un líquido para absorber el componente menos volátil. El líquido de lavado, conocido como reflujo (R) se obtiene condensando el vapor (V) que sale por el tope de la torre y retornándolo como líquido (L) a la parte superior de la misma. De esta manera, el vapor que asciende se enriquece en el componente más volátil etapa tras etapa, mientras que a su vez el líquido se enriquece en el componente menos volátil. En la sección debajo de la alimentación (llamada sección de stripping) el líquido (L') se desorbe del componente menos volátil mediante vapor (V') que se produce en el fondo por evaporación parcial en un reboiler del producto de fondo líquido. Dentro de la torre, los líquidos y los vapores siempre están en sus puntos de burbuja y de rocío respectivamente, de manera que las temperaturas más elevadas se encuentran en el fondo de la torre y las menores en la parte superior.

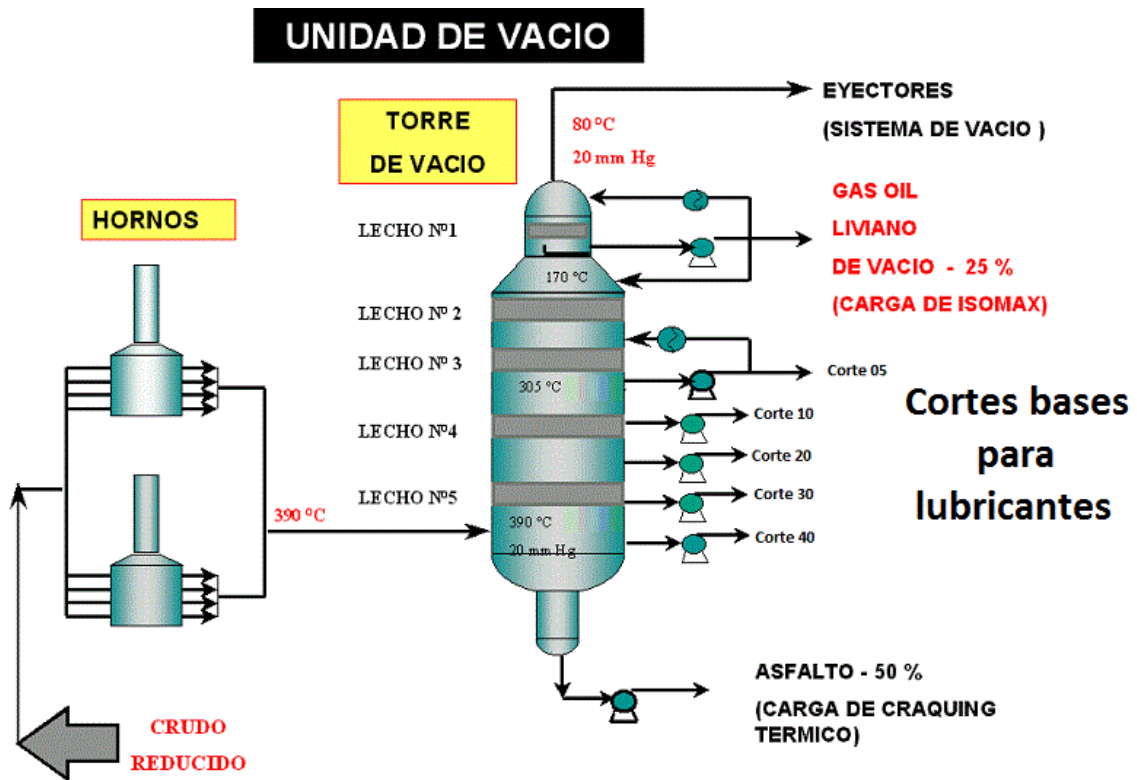
Las aplicaciones más complejas del proceso de fraccionamiento de varios componentes se realizan en el campo de la refinación de petróleo. Los productos de petróleo, como por ejemplo nafta, kerosén, gas oil, aceite lubricante, etc., son mezclas de cientos de hidrocarburos, tantos que su identidad y número real no pueden determinarse fácilmente. Sin embargo, como generalmente no son sustancias puras las que se desean en estos productos, sino más bien propiedades, se pueden establecer especificaciones acerca del rango de ebullición, densidad, viscosidad y similares.

## **DESTILACIÓN AL VACÍO**

Todos los materiales derivados del petróleo comienzan a descomponerse a una temperatura de más o menos 360 °C, dando productos de más bajo punto de ebullición, es más, aún a temperaturas inferiores puede producirse un cambio de coloración. En algunos casos este cambio de coloración no es importante, en otros implicará mayores costos en los procesos posteriores.

La temperatura de vaporización de muchos materiales derivados es tan elevada que no pueden ser vaporizados a la presión atmosférica sin descomponerse.

Por esta razón los petróleos crudo reducido (residuo de una Unidad de Topping) no pueden ser destilados a presión atmosférica.



Para estos materiales que tienen límites de ebullición tan elevados, debe recurrirse a la destilación al vacío o por arrastre con vapor de agua y en algunos casos a una combinación de ambas, como es el caso de la producción de aceites lubricantes.

El efecto del vacío es el de reducir la presión total del sistema, con lo cual se disminuye la presión parcial y el punto de ebullición de cada uno de los componentes del sistema.

El efecto del vapor de agua es el de reducir la presión parcial de vapor de los componentes a destilar.

Esto se puede interpretar utilizando la ley de Raoult como:

$$p^* = p_o x$$

donde  $p^*$  es la presión parcial de un componente en fase gaseosa,  $p_o$  es la presión de vapor del componente puro y  $x$  es la fracción molar del componente en la fase líquida.

De esta manera, si en un sistema dado en equilibrio se reduce la presión parcial de un componente en la fase gaseosa, se producirá una mayor vaporización del componente estableciéndose un nuevo equilibrio.

Las condiciones operativas usuales para la producción de aceites lubricantes son de una presión absoluta de 30 a 80 mm de Hg., una temperatura de 390 °C a la entrada a la torre, que con una inyección de 0,012 kg de vapor de agua por litro de alimentación resulta en una temperatura en la zona flash de 365 °C.

El empleo de temperaturas más elevadas origina pérdidas en los aceites lubricantes más pesados, pudiendo estimarse la pérdida de rendimiento en un 10 a 15% por la formación de gas oil y aceites más ligeros.

El método corriente para mantener el vacío consiste en emplear un condensador y eyectores de vapor. El vapor de agua y parte de los gases se condensan en el condensador, reduciéndose considerablemente su volumen, lo que produce el vacío. Los gases no condensables son expulsados del sistema mediante los eyectores.

La caída de presión que se produce entre el condensador y la zona flash de la torre es de gran importancia. El propósito del vacío es el de producir una baja presión efectiva en la zona flash, y de aquí que el vacío no debe disminuir por pérdidas excesivas debidas a fricción en las tuberías, condensador y platos de la torre.

El fraccionamiento es más efectivo a bajas temperaturas o al vacío que a altas temperaturas, y ello se debe a que hay una mayor diferencia entre las presiones de vapor de los componentes a bajas presiones que a altas. Por ejemplo, la volatilidad relativa del propano con respecto al pentano es de 52,5 a -45°C y de 12,5 a 10°C. Esto explica en parte el número relativamente bajo de platos que usan las torres de vacío.

## **APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA PPS**

La aplicación práctica de la PPS se desarrolló durante dos meses, según el diagrama de trabajo al cual está afectado el personal de turno de la Refinería de La Plata.

Dicho diagrama contempla la realización de guardias de doce horas diarias durante cuatro días, seguido de cuatro días de descanso.

## **TAREAS DESARROLLADAS POR EL OPERADOR DE LA TORRE**



## **DE DESTILACIÓN**

- Cumplir con los procedimientos internos de calidad.

Los productos elaborados en la torre de destilación al vacío cuentan deben cumplir con especificaciones de viscosidad y punto de inflamación.

Para mantener los productos dentro de especificación, el operador de la torre cuenta con los analizadores en línea de viscosidad y con los informes de laboratorio programados en los cuales se detallan los resultados de análisis de viscosidad y punto de inflamación.

- Asegurar la operación de la Unidad cumpliendo con los procedimientos que fijan las variables operativas.

Las pautas operativas de la torre de destilación al vacío se encuentran establecidas en las instrucciones diarias emitidas por el Departamento de Programación de la Refinería.

- Corregir desviaciones de variables o maniobras operativas para cumplir con los procedimientos que fijan la operación segura.

Para monitorear el estado de las variables de operación de la torre fraccionadora, el operador de consola cuenta con el sistema de control de procesos mediante el cual puede visualizar en la consola de operación el valor de dichas variables en tiempo real.

Además cuenta con el apoyo del operador de campo, con el cual está en permanente contacto para detectar desviaciones en los valores de las variables indicados en la consola por los instrumentos con respecto a los que se encuentran instalados en campo, así como para efectuar maniobras operativas.

- Redactar las novedades diarias en un libro de actas.

## **OPERACIÓN DE LA TORRE FRACCIONADORA**

Las variables de operación de la torre fraccionadora son:

1. Temperatura de alimentación

2. Temperatura de cabeza.
3. Presión de trabajo.
4. Temperatura de extracción de los cortes.
5. Caudal de inyección de vapor al fondo.

Los valores de estas variables se encuentran establecidos en las Instrucciones de Operación Diarias, de acuerdo a la calidad de la carga, requerimientos de producción de acuerdo a planificación y a las condiciones de operación.

Las acciones a llevar a cabo para mantener las variables críticas dentro de los valores de operación son:

1. Temperatura de la carga a la torre fraccionadora

Se controla regulando las condiciones de operación en el equipo de transferencia de calor que se encuentra antes de la torre (aguas arriba).

2. Temperatura de cabeza.

La misma se mide mediante el TI-01, y se ajusta regulando el caudal de reflujo medido y controlado por el FIC-11.

Si la temperatura se encuentra por debajo del valor operativo, se deberá apagar un ventilador EC-03.

Si la temperatura se encuentra por encima del valor operativo, se deberá poner en servicio un ventilador aéreo en caso de que haya uno fuera de servicio. Caso contrario se aumenta el caudal de reflujo de cabeza controlado por el FIC-11.

3. Presión de trabajo.

La presión de operación de cabeza y de zona flash son medidas por del PI-01 y el PI-02 respectivamente, y se controlan mediante el PIC-01 que actúa sobre la reguladora de by-pass de los gases que pasan por el eyector J-01.

En el caso de que la acción del PIC-01 no sea suficiente para mantener la presión en los valores operativos se procederá:

- Si la presión se encontrara por debajo del valor operativo, se procederá a restringir la entrada de vapor al J-01.
- Si la presión se encontrase por encima del valor operativo se procederá a abrir la entrada de vapor al J-01. Si esta acción no es suficiente se procederá a poner en servicio el J-01 auxiliar. Se deberá verificar además la correcta evacuación del condensado generado en el E-01 en el pie barométrico.

#### 4. Temperatura de extracción y viscosidad de los cortes.

La temperatura de extracción de los cortes se considera crítica para que los cortes se encuentren en especificación.

Cada variación de temperatura deberá ser correspondida por una variación de la viscosidad de los cortes de forma que si esta sale del rango de especificación demandará una acción correctiva.

Debido al retardo en los analizadores de viscosidad AI de cada corte, o en caso de falla de los mismos, la variación de la temperatura de extracción se utiliza como referencia del resultado de las acciones correctivas tendientes a obtener los productos en especificación.

La temperatura de línea deberá estar dentro de los parámetros establecidos para lograr una buena destilación, así como también deberá controlarse la temperatura en el plato del reflujo circulante.

#### **4.1 Temperatura del plato de reflujo circulante.**

La temperatura se mide y se controla con el TIC-02. Si la temperatura del plato estuviese por encima del valor operativo aumentará el reflujo. Si la temperatura estuviese por debajo del valor operativo disminuirá el caudal de reflujo.

#### **4.2. Extracción de corte GOV.**

Este corte se extrae de la torre T-01. Parte se retorna a la torre como reflujo de cabeza, medido y controlado por el FIC-11 y parte se extrae como corte, medido y controlado por el FIC-09. Este corte sale sin especificación.

### **4.3. Extracción corte 05**

El corte 05 se extrae de la torre T-01 y una fracción es aspirada por la B-06, ésta lo envía al EA-01 (intercambio con C. Reducido), al EA-02 (intercambio con agua) y por último al EC-01 (aeroenfriador). Ésta corriente es controlada por el FIC-13 y retornada hacia la T-01 como reflujo circulante para mantener las condiciones operativas de la torre.

La fracción que no aspira la B-06 se dirige al stripper DA-05, cuyo nivel es indicado y controlado por el LIC-05, y es aspirado por la B-05 y lo envía al destino programado. El caudal es medido y controlado por el FIC-05. La viscosidad se mide en el analizador en línea AI-05.

El corte 05 debe cumplir con especificaciones de viscosidad y punto de inflamación.

Si se observa un aumento de la viscosidad por encima del rango de especificación, se procederá a:

- a. Disminuir el caudal de extracción del corte 05 operando sobre el FIC-05.
- b. Aumentar el reflujo de cabeza operando sobre el FIC-11, esto trae como consecuencia un corrimiento en el perfil de temperatura de toda la torre T-01.

Si se observa una disminución por debajo del rango de especificación del punto de inflamación (según análisis de laboratorio), se deberá aumentar la inyección de vapor en el DA-05, operando sobre el FIC-06.

### **4.2. Extracción de corte 1**

El corte 1 se extrae de la torre T-01 y fluye por gravedad hacia el stripper DA-01, cuyo nivel es indicado y medido por el LIC-01. La temperatura de extracción se mide con el TI-01. La bomba B-01 aspira el corte 1 desde el DA-01 y lo envía al destino programado, midiendo y controlando el caudal por el FIC-01. La viscosidad se mide en el analizador en línea AI-01.

El corte 1 debe cumplir con especificaciones de viscosidad y punto de inflamación.

Si se observa un aumento de la viscosidad por encima de la especificación, se procederá en forma escalonada o simultánea a:

- a. Disminuir el caudal de extracción del corte 1 operando sobre el FIC-01.
- b. Aumentar el caudal de reflujo circulante con el TIC-02 y el caudal de reflujo de cabeza con el FIC-11, esto trae como consecuencia un corrimiento en el perfil de temperatura de toda la torre T-01.

La acción correctiva deberá corresponderse con una variación en la temperatura de extracción medida con el TI-01 y en el valor indicado por el AI-01.

Si se observa una disminución de la viscosidad por debajo de la especificación se deberá proceder en forma inversa a los puntos a y b.

Si se observa una disminución por debajo del rango de especificación del punto de inflamación (según análisis de laboratorio), se deberá aumentar la inyección de vapor en el stripper DA-01, operando sobre el FIC-07.

#### **4.5. Extracción de corte 2**

El corte 2 se extrae de la torre T-01 y fluye por gravedad hacia el stripper D A-02, cuyo nivel es indicado y medido por el LIC-02. La temperatura de extracción se mide con el TI-02. La bomba B-02 aspira el corte 2 desde el DA-02 y lo envía al destino programado, midiendo y controlando el caudal por el FIC-02. La viscosidad se mide en el analizador en línea AI-02.

El corte 2 debe cumplir especificaciones de viscosidad y punto de inflamación.

- Si se observa un aumento de la viscosidad por encima del rango de especificación, se procederá en forma escalonada o simultánea a:
  - a. Disminuir el caudal de extracción del corte 2 operando sobre el FIC-02.
  - b. Disminuir el caudal de extracción del corte inmediato superior operando sobre el FIC-01, esto trae como consecuencia una disminución en el punto de inflamación del corte 2 que se ajusta con un aumento en la inyección de vapor en el DA-02.
  - c. Aumentar el caudal de reflujo circulante con el TIC-02 y el caudal de reflujo de cabeza con el FIC-11, esto trae como consecuencia un corrimiento en el perfil de temperatura de toda la torre T-01.

La acción correctiva deberá corresponderse con una variación en la temperatura de extracción medida con el TI-02 y en el valor indicado por el AI-02.

- Si se observa una disminución de la viscosidad por debajo del rango de especificación, se procederá en forma inversa a los puntos a, b y c.
- Si se observa una disminución por debajo de la especificación en el punto de inflamación, se procederá a aumentar el caudal de vapor en el stripper DA-02, el cual es medido y controlado por el FIC-08.

#### **4.6. Extracción de corte 3**

El corte 3 se extrae de la torre T-01 y fluye por gravedad hacia el stripper DA-03, cuyo nivel es indicado y medido por el LIC-03. La temperatura de extracción se mide con el TI-03. La bomba B-03 aspira el corte 3 desde el DA-03 y lo envía al destino programado, midiendo y controlando el caudal por el FIC-03. La viscosidad se mide en el AI-03.

El corte 3 debe cumplir especificaciones de viscosidad y punto de inflamación.

- Si se observa un aumento de la viscosidad por encima del rango de especificación, se procederá:
  - a. Disminuir el caudal de extracción del corte 3 operando sobre el FIC-03.
  - b. Disminuir el caudal de extracción del corte inmediato superior operando sobre el FIC-02, esto trae como consecuencia una disminución en el punto de inflamación del corte 3 que se ajusta con un aumento en la inyección de vapor en el DA-03.
  - c. Aumentar el caudal de reflujo circulante con el TIC-02, y el caudal de reflujo de cabeza con el FIC-11, esto trae como consecuencia un corrimiento en el perfil de temperatura de toda la torre T-01.

La acción correctiva deberá corresponderse con una variación en la

temperatura de extracción medida con el TI-03 y en el valor indicado por el AI-03.

- Si se observa una disminución de la viscosidad por debajo del rango de especificación, se procederá en forma inversa a los puntos a, b, c y d.
- Si se observa una disminución por debajo de la especificación en el punto de inflamación, se procederá a aumentar el caudal de vapor en el stripper DA-03, el cual es medido y controlado por el FIC-09.

#### **4.7. Extracción de corte 4**

El corte 4 se extrae de la torre T-01 y fluye por gravedad hacia el stripper DA-04, cuyo nivel es indicado y medido por el LIC-04. La temperatura de extracción se mide con el TI-04. La bomba B-04 aspira el corte 4 desde el DA-04 y lo envía al destino programado, midiendo y controlando el caudal por el FIC-04. La viscosidad se mide en el AI-04.

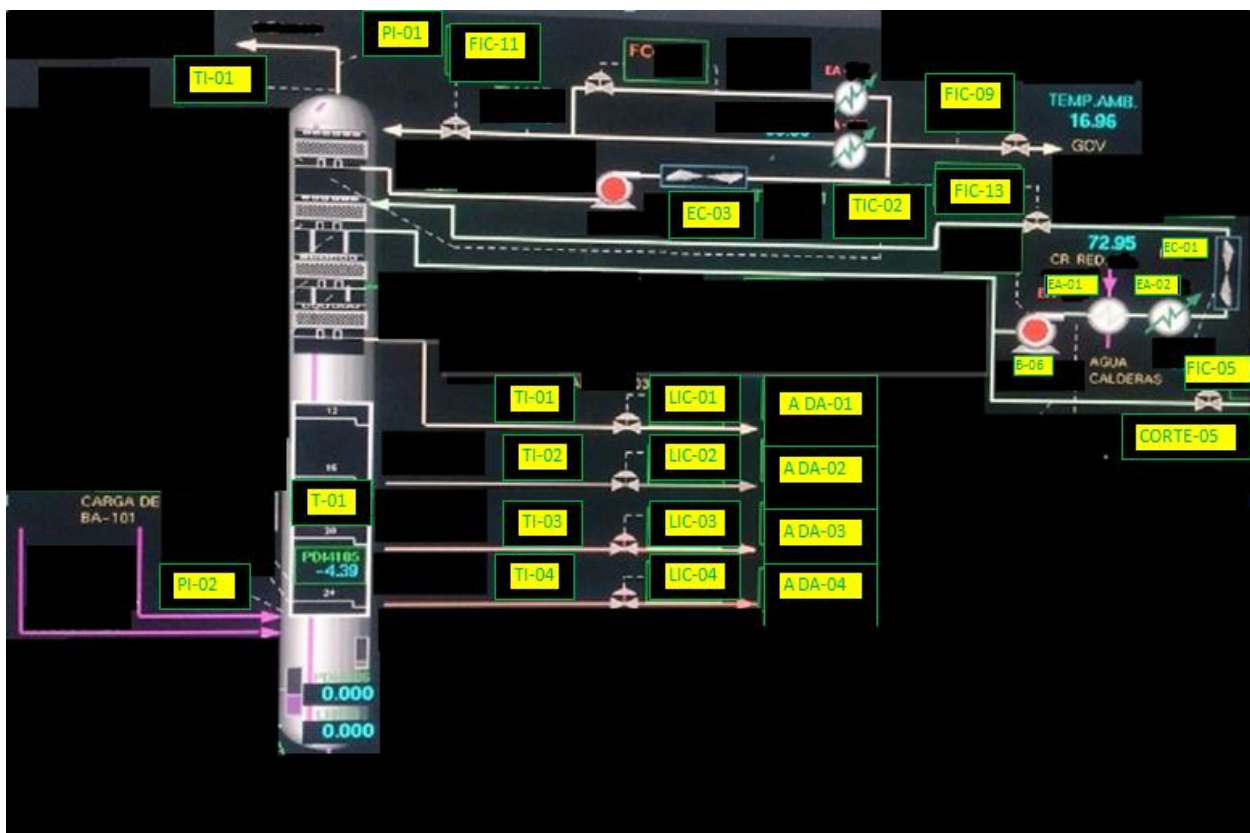
El corte 4 debe cumplir especificaciones de viscosidad y punto de inflamación.

- Si se observa un aumento de la viscosidad por encima del rango de especificación, se procederá:
  - a. Disminuir el caudal de extracción del corte 4 operando sobre el FIC-04.
  - b. Disminuir el caudal de extracción del corte inmediato superior operando sobre el FIC-03, esto trae como consecuencia una disminución en el punto de inflamación del corte 4 que se ajusta con un aumento en la inyección de vapor en el DA-04.
  - c. Aumentar el caudal de reflujo circulante con el TIC-02, y el caudal de reflujo de cabeza con el FIC-11, esto trae como consecuencia un corrimiento en el perfil de temperatura de toda la torre T-01.

- La acción correctiva deberá corresponderse con una variación en la temperatura de extracción medida con el TI-04 y en el valor indicado por el AI-04.
- Si se observa una disminución de la viscosidad por debajo del rango de especificación, se procederá en forma inversa a los puntos a, b y c.
- Si se observa una disminución por debajo del rango de especificación en el punto de inflamación, se procederá a aumentar el caudal de vapor de stripper DA-04, el cual es medido y controlado por el FIC-10.

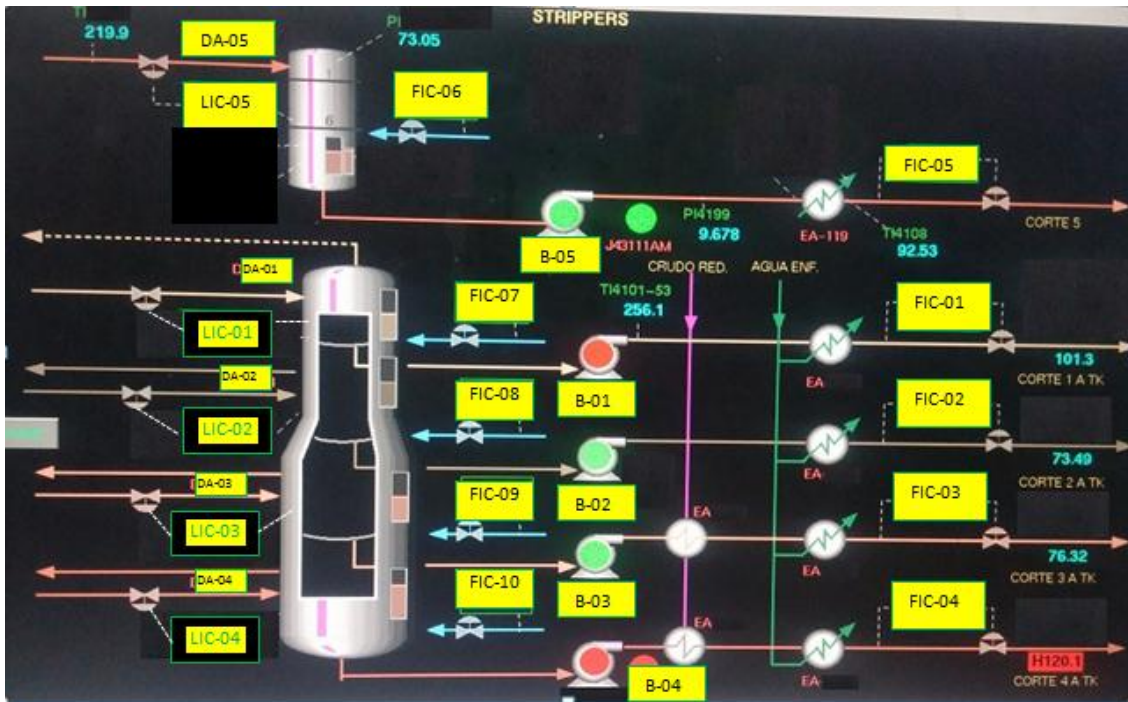
#### 4.8. Graficos de torre, strippers y sistema de vacio.

##### 1) Torre.

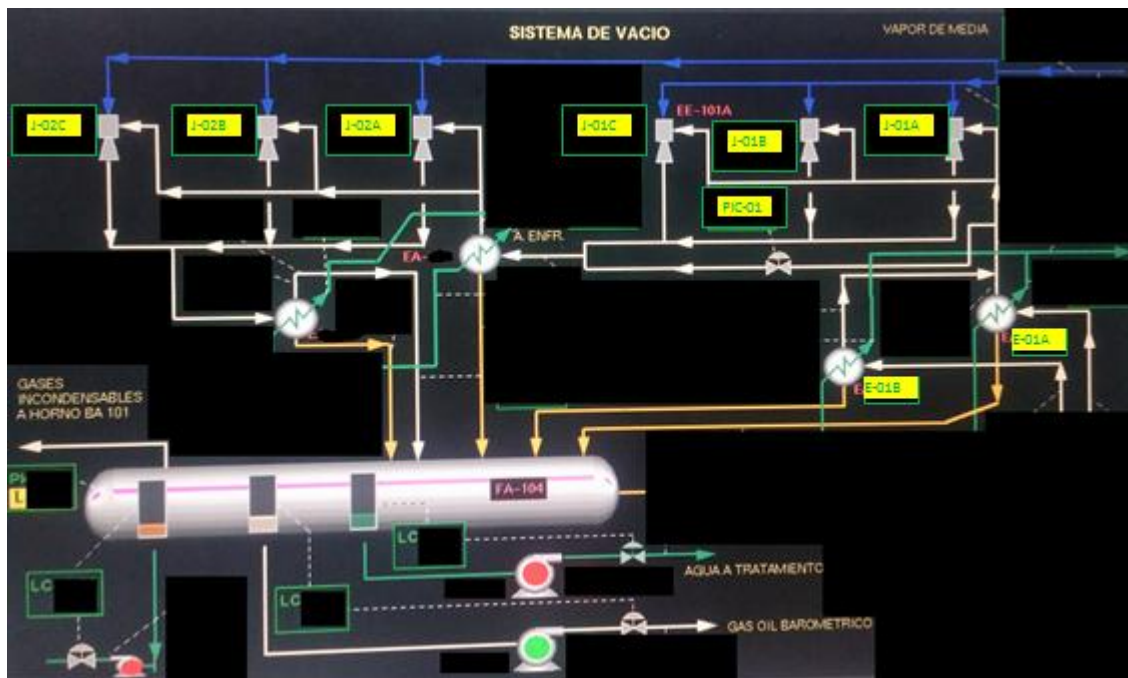


##### 2) Strippers





3) Sistema de vacío.



### 5.1. Caudal de inyección de vapor al fondo.

Para una determinada calidad de carga, el caudal de vapor al fondo de la torre toma un valor determinado, que se controla mediante el FC-12.

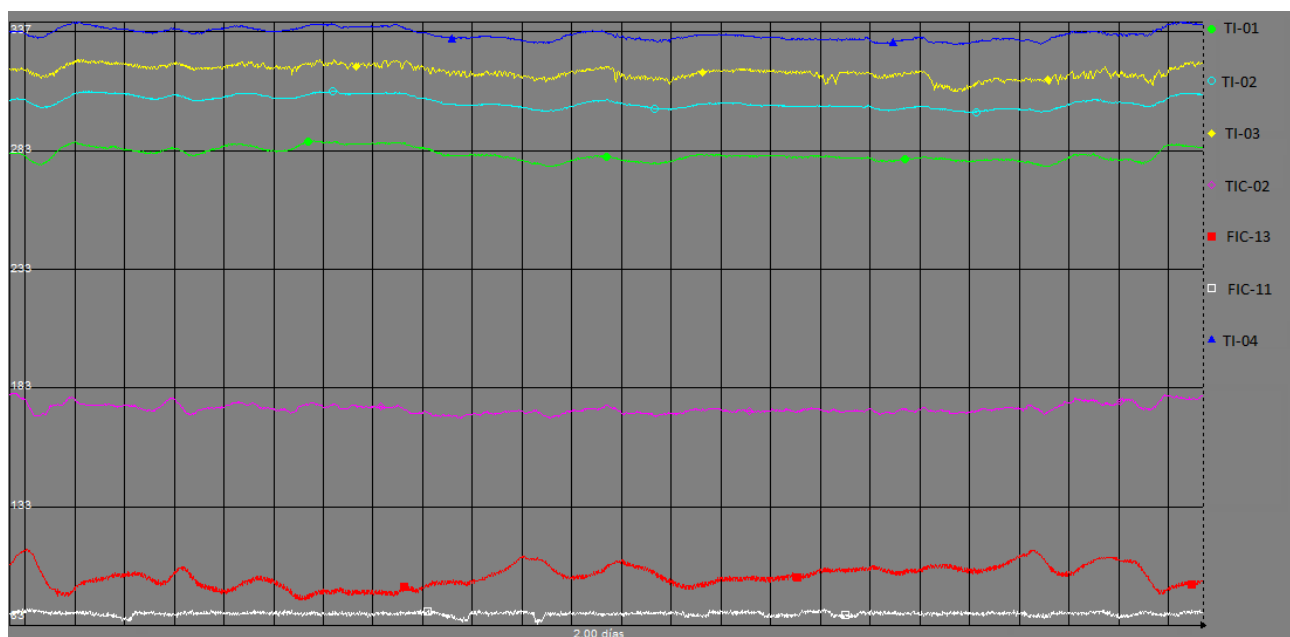
## CONCLUSIONES

En el período de aplicación práctica de la PPS la operación de la torre se llevó a cabo según las pautas preestablecidas.

El monitoreo y control de las variables que afectan el proceso se llevó a cabo mediante el sistema de control automático de procesos, el cual proporciona en la pantalla de la consola de operación una indicación en tiempo real de los valores de las variables medidas por los instrumentos.

A continuación se presenta una serie de gráficos utilizados para el monitoreo de las variables del proceso. En estos gráficos se puede observar los efectos que se producen al realizar los diferentes ajustes para entrar en los rangos de especificación para la viscosidad. Estos gráficos están basados en un periodo de 24 horas. También es importante aclarar que los valores presentes en los gráficos han sido afectados por un factor de escala por motivos de privacidad.

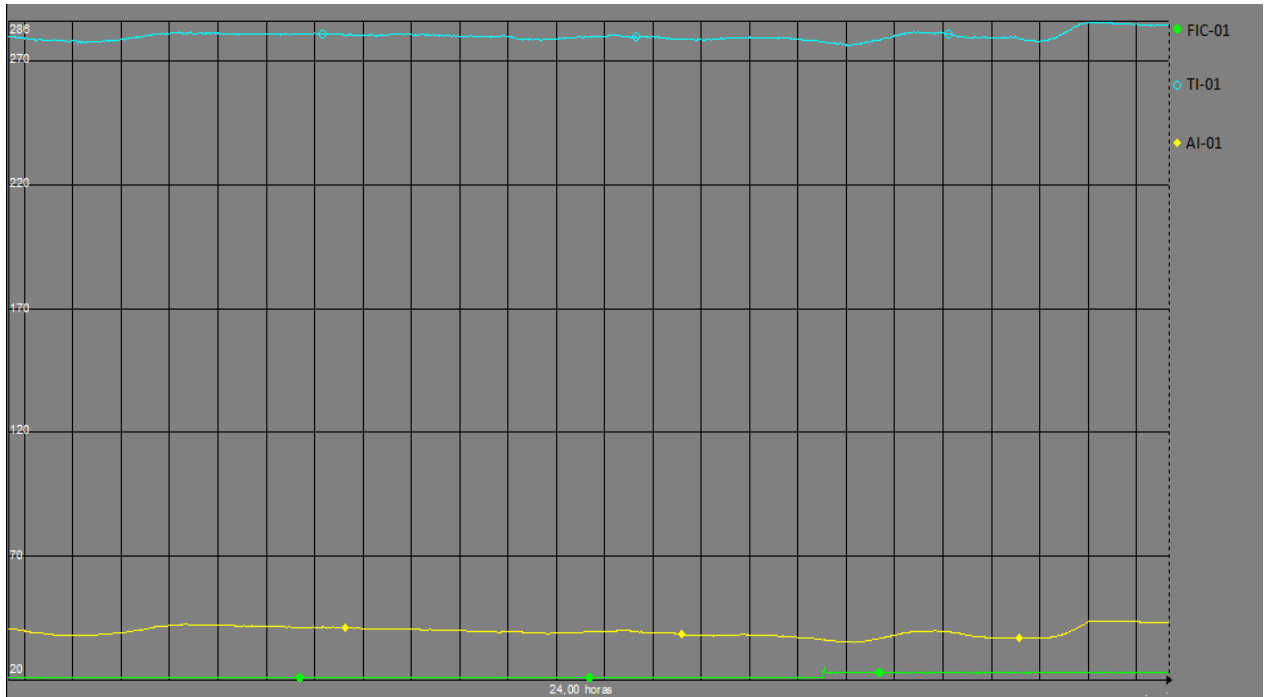
Grafico 1.



En este gráfico podemos apreciar la variación en la temperatura de extracción de los diferentes cortes al variar el reflujo circulante, ya que el reflujo de cabeza se mantiene prácticamente constante.

Al variar el reflujo circulante, se observa una variación prácticamente lineal en las temperaturas de extracción a lo largo de toda la torre, cambiando el perfil de la misma.

Grafico 2.



En este 2° grafico, podemos apreciar la variación en la temperatura de extracción y variación de la viscosidad al aumentar el caudal de extracción, en este caso se trata del corte 1.

La viscosidad del corte 1 se encontraba por debajo del rango de especificación, para corregirla se procedió a aumentar el caudal de extracción FIC-01, como consecuencia de ésta acción aumentó la temperatura de extracción TI-01 por la cual eso conlleva a un aumento en la viscosidad analizada en línea por el AI-01, cumpliendo de esta forma el objetivo de aumentar la viscosidad del corte 1 para que entre en el rango de especificación.

En el período de aplicación práctica de la PPS, además de la operación de la torre de fraccionamiento en sí, el alumno desarrolló otras tareas como comunicarse, intercambiar información y coordinar tareas con personal de otras áreas, como ser laboratorio, plantas proveedoras de utilities y receptoras de las corrientes de proceso, etc.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Operaciones de Transferencia de masa, Robert E. Treybal, Ed. McGraw-Hill
- Operaciones Básicas de Ingeniería Química, Mc Cabe – Smith
- Refinación de Petróleo, W. L. Nelson