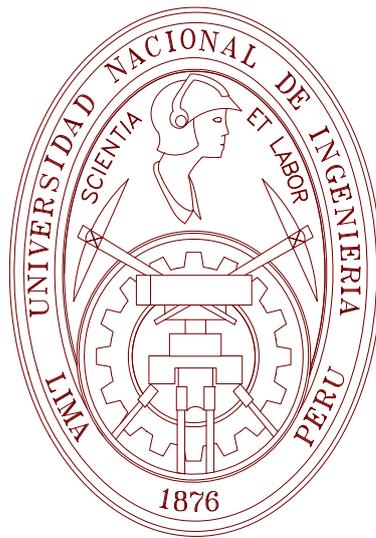


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETROLEO, GAS

NATURAL Y PETROQUIMICA.



**EVALUACION TÉCNICA DE LA OPERACIÓN DE UNA
COLUMNA DE DESTILACION AL VACIO PARA
DETERMINAR EL ENSUCIAMIENTO EN LA ZONA DE
LAVADO Y LAS CONSECUENCIAS EN EL
FRACCIONAMIENTO**

TESIS

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO PETROQUIMICO**

EDITH MARLENI GASTELO MARIN

**PROMOCIÓN 1998
LIMA - PERÚ**

2011

A mi padre y mi madre, por su apoyo incondicional que siempre me han dado para alcanzar mis objetivos profesionales.

Y a mis queridas hijas porque su sonrisa me alienta cada día a seguir adelante.

Un agradecimiento especial a los Ingenieros
Máximo Angulo Silva y Ernesto Barreda Tamayo
por su apoyo en la realización de mí Trabajo de
Tesis.

SUMARIO

El presente trabajo de Tesis tiene por objetivo hacer una evaluación técnica de una Columna de Destilación al Vacío de una Refinería de Petróleo.

La operación de la Unidad de Destilación al Vacío viene presentando limitaciones de operación: En su flujo de carga, en la presión del vapor de eyectores, y en el flujo de vapor a los fondos de la fraccionadora.

Se propone realizar una revisión de las condiciones históricas de operación de la unidad como son la presión, temperatura y flujo, para determinar la causa que origina las limitaciones de operación en la fraccionadora.

La evaluación técnica demuestra que los cambios de las condiciones de operación fueron causados por un incremento en la caída de presión del lecho 4 de la fraccionadora de Destilación al Vacío o zona de lavado, originado por la formación de coque en el lecho 4.

INDICE

	<u>Página</u>
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
SUMARIO.....	iii
INDICE	iv
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	01
1.1. Problemática	01
1.2. Formulación del problema	03
1.3. Justificación del trabajo de tesis	04
1.4. Objetivo general	04
1.5. Objetivos específicos	05
1.6. Hipótesis general.....	05
1.7. Identificación de variables	05
1.7. Estandarización de indicadores.....	08
II. MARCO TEORICO.....	09
2.1. Descripción de la refinería.....	09
2.2. Antecedentes de la investigación	12
2.3. Bases teóricas.....	13
2.4. Marco conceptual.....	17
III. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	23
IV. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	25
4.1. Descripción de la situación.....	25
a. Reflujo de HVGO en la zona de lavado.....	28
b. Caída de presión del lecho 4 y presión de vapor de eyectores	29
c. Presión de la zona flash	30
e. Temperatura de la zona flash.....	31
f. $T_{5\%HVGO} - T_{95\%LVGO}$	32
g. Residuo de carbón Conradson.....	33
h. Contenido de vanadio	34
i. Evidencias fotográficas	35
4.2. Evaluación de los rendimientos de HVGO.....	39
4.3. Evaluación de los rendimientos de HVGO considerando rangos de carga y estructura de carga de crudo mayoritariamente Oriente	40
4.4. Estimado económico de perdida	42
V. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	43

5.1. Condiciones de operación	43
5.2. Diseño de la zona de lavado	43
5.3. Rendimiento de HVGO.....	45
5.4. Calidad de HVGO	45
VI. CONCLUSIONES	46
VII. RECOMENDACIONES.....	47
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	50
IX. ANEXOS.....	51

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática

La Unidad de Destilación al Vacío a evaluar, es una unidad que inicio su operación en el año 2005. Tiene una columna fraccionadora de Destilación al Vacío del tipo húmeda, cuatro lechos y produce los siguientes productos: Gasóleo Ligero de Vacío (LVGO), Gasóleo Medio de Vacío (MVGO), Gasóleo Pesado de Vacío (HVGO) y un residual que produce por el fondo de la fraccionadora.

La Unidad de Destilación al Vacío, puede operar:

- Operación asfalto, produce por el fondo de la fraccionadora cementos asfálticos (CA), como son: CA 60/70, CA85/100 y CA 120/150.
- Operación residual, produce por el fondo residuales (R) que pueden ser enviados a una Unidad de Visbreaking o también al sistema de mezcla para producir: R500 y R6.

Los gasóleos producidos LVGO y HVGO, son controlados su calidad y rendimiento por la destilación, para el caso del LVGO se realiza la destilación ASTM D86 y para el HVGO se realiza la destilación ASTM (American Standard Testing and Material) D1160. Con las destilaciones y con los rendimientos volumétricos de la unidad obtenemos el punto de corte. El HVGO tiene un punto de corte en 550°C (1022°F).

Cuenta con controladores e indicadores de presión, temperatura y flujo que permite un buen monitoreo de las condiciones de operación.

Durante el último periodo, la unidad opero en un promedio de cargas de 30,000 barriles por día (BPD), es decir no operó en toda la capacidad debido al esquema de refino, sin embargo, cuando se intentó operar a 36,000 BPD la unidad presentó limitaciones en el vacío, lo que originaba un mal fraccionamiento.

Esta situación se asoció inicialmente a un problema que se tuvo con el agua de enfriamiento. El agua de retorno a la torre de enfriamiento había incrementado en 6°C en promedio, es decir se sospechaba de que la condensación de los gases de tope no se producía en el tope de la Unidad de Destilación al Vacío (UDV); sin embargo solucionado el problema en el agua de enfriamiento las limitaciones continuaron.

Luego se comenzó a controlar la presión de tope, modificando la presión de vapor de los eyectores de vacío, reduciéndose desde 16 kg/cm² a 11 kg/cm² y la presión de la zona flash, disminuyendo el consumo de vapor los fondos desde 4,000 kg/h hasta 2,700 kg/h. A esta etapa le denominaron control de presión.

Otra de las acciones realizadas que se encontraron fue incrementar el reflujo de la zona de lavado, incrementándose la caída de presión en el lecho 4.

La problemática anteriormente descrita es el inicio de este Trabajo de Tesis.

En el cuadro siguiente resumimos lo anteriormente descrito:

	Unidades	Condiciones de diseño	Condiciones base	Antes de problemas con el agua de enfriamiento	Con problemas en el agua de enfriamiento	Alta caída de presión en lecho 4 por alto reflujo	Control de presión de vacío	Control de presión de vacío
Fecha			18 abr 07	01 ago 07	18 mar 08	14 may 08	21 may 08	21 ene 09
Presión de Vapor de eyectores	kg/cm ²	16	16	16.65	15.77	12.53	13.74	11.01
Vapor de Fondos	kg/h	4,053	3,700	2,177	2,314	2,500	2,500	2,700
Δ Presión Lecho 4	mmHg		4	6	4	14	6	22

Tabla 1.1. Resumen de condiciones de operación para la UDV

1.2. Formulación del problema

Las condiciones de operación de la columna de Destilación al Vacío han cambiado y presentan limitaciones de operación tales como:

- La presión de la zona flash supera los valores de 68 mmHg (valor de referencia del diseño) y supera el valor de alarma de alta de 85 mmHg, lo cual es una condición no favorable para un adecuado fraccionamiento y asociada a la pérdida de carga.
- Se tiene arrastre de metales (el vanadio) y carbón en el HVGO producido. Para el caso del vanadio se encuentra valores superiores de 3 ppm (valor referencial de la corrida de garantía cuando arranco la unidad) y en el caso del carbón supera los 0.6%masa (valor máximo referencial de diseño).

- El punto de corte ha disminuido por debajo de los 550°C (valor referencial de diseño).

Para corregir estos inconvenientes y continuar con la operación de la unidad se habían realizado los siguientes cambios en las condiciones de operación:

- La inyección del vapor de alta presión que se inyecta a los eyectores de tope, para controlar el vacío de la fraccionadora, ha tenido que disminuirse desde 16 kg/cm² hasta 11 kg/cm².
- El vapor de alta que se inyecta en los fondos, se ha reducido desde 4,000 kg/h hasta 2,700 kg/h, para poder controlar la presión de la zona flash.

1.3. Justificación del trabajo de tesis

Identificar las causas raíz que generan el incremento de la caída de presión en la zona de lavado por la formación de coque. Así también, para cumplir con el ciclo de operación de la Unidad de Destilación al Vacío, la cual está programada parar cada 5 años y dar seguridad en la operación.

1.4. Objetivo general

Identificar las variables de operación que originan los problemas de ensuciamiento, formación de coque, en una fraccionadora de la Unidad de Destilación al Vacío.

1.5. Objetivos específicos

- Evaluar la situación encontrada por revisión periódica de data de condiciones de operación.
- Cuantificar las consecuencias en el fraccionamiento y rendimientos de los productos.
- Recomendar las acciones a seguir para recuperar las condiciones de operación normales.

1.6. Hipótesis general

Los cambios en las condiciones de operación tales como: Disminución del flujo en la zona de lavado, incremento de la temperatura en el horno y como consecuencia en la zona flash, originan problemas de ensuciamiento, es decir la formación de coque en la zona de lavado.

1.7. Identificación de variables

a. Reflujo de la zona de lavado

Variable medible directamente por que se cuenta con un medidor en línea que envía el flujo en m³/h en tiempo real.

TAG	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
04FC049	Controlador de Flujo en la parte superior del lecho 4.	m ³ /h.

b. Presión en la zona de lavado:

La variable principal a evaluar es la presión, antes y después de cada lecho empacado de la columna. Es medible de manera directa, en

indicadores de presión cuya señal se envía a tiempo real y se almacena, de manera de poder realizar tendencias en el tiempo.

TAG	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
04PI 501	Indicador de presión después del lecho 4	mmHg
04PI060	Indicador de presión antes del lecho 4	mmHg
04PC061	Controlador de presión de la zona flash	mmHg

c. Puntos de corte de los gasóleos producidos

A partir de la destilación del gasóleo pesado de vacío y con los rendimientos volumétricos se obtiene el punto de corte.

TAG	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
04FC052	Controlador de Flujo de LVGO	m ³ /h.
04FC049	Controlador de Flujo de MVGO	m ³ /h.
04FC056	Controlador de Flujo de HVGO	m ³ /h.
04FX401	Controlador de Flujo de Carga	m ³ /h.

Las otras variables empleadas son datos del Laboratorio como es la Destilación ASTM D 1160 para el HVGO

A partir de esta destilación se obtiene la TBP en donde se determina los puntos de corte teniendo los datos de rendimientos obtenidos desde las mediciones de flujo.

Otras variables que consideramos y son evidencia de la situación encontrada:

d. Temperatura de la Zona Flash

Es medible de manera directa, porque la unidad cuenta con un indicador de temperatura 04TI096.

e. 5% HVGO – 95%LVGO

Esta variable nos permite evaluar el desmejoramiento del fraccionamiento por el incremento de la presión en la zona flash. Es medible de manera indirecta, es la expresión matemática de la diferencia entre los resultados de temperatura del 5% HVGO y 95%LVGO para la Destilación ASTM D 86.

f. Carbón Conradson en HVGO

Esta variable nos permite mostrar el arrastre del carbón en el HVGO. Esta variable se controla mediante medición directa en el Laboratorio por el método ASTM D 189.

g. Contenido de vanadio en HVGO

Esta variable nos permite mostrar el desmejoramiento de la calidad del HVGO. Esta variable se controla mediante medición directa en el Laboratorio por el método ASTM D 1548.

1.8. Estandarización de indicadores

INDICADOR	MEDICIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA	RANGOS
Flujo de lavado.	Directa.	Medición 04FC049	Objetivo recomendado = 53 m3/h
Caída de presión zona de lavado.	Indirecta.	Diferencia de medidores 04PI060 – 04PI501	Diseño = 4 mmHg
Punto de corte.	Indirecta.	Con los datos de rendimiento y destilación de HVGO	Temperatura de corte objetivo = 550°C
Presión de la zona flash	Directa	Medición 04PC061	Objetivo recomendado = 68 mmHg

Tabla 1.2. Indicadores para identificar y cuantificar problemática

INDICADOR	MEDICIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA	RANGOS
Temperatura de la zona flash	Directa	Medición 04TI096	390° – 395°C
$T_{95\%HVGO} - T_{5\%LVGO}$	Indirecta	$T_{95\%HVGO} - T_{5\%LVGO}$	$T_{95\%HVGO} - T_{5\%LVGO} > 10^{\circ}\text{C}$
Carbón Conradson en HVGO	Directa	Resultado del Laboratorio	Carbón Conradson < 0.6% masa
Contenido de vanadio en HVGO	Directa	Resultado del Laboratorio	Vanadio < 3 ppm

Tabla 1.3. Indicador para evidenciar problemática

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Descripción de la refinería

El presente informe considera el caso de una refinería de petróleo de 100,000 barriles/día de capacidad. La refinería procesa el petróleo crudo en una Unidad de Destilación Primaria para la obtención de combustibles con valor agregado (GLP, gasolinas, kerosene, turbo combustible, diesel, residuales, asfaltos, etc.) requeridos para la operación de la industria en general y equipos de automoción.

2.1.1. Descripción de la planta

Las principales unidades operativas que conforman una refinería de petróleo son las siguientes:

- a. Unidad de Destilación Primaria (UDP): El crudo almacenado en tanques se bombea a esta unidad y se calienta en hornos de combustión hasta una temperatura de 360°C. La corriente parcialmente vaporizada ingresa a una columna de destilación en donde se efectúa la separación de los componentes de la carga, obteniéndose gas licuado de petróleo (GLP), gasolinas, kerosene, diesel, gasóleo atmosférico (AGO) y un residual llamado crudo reducido que se produce en el fondo de la columna.

La gasolina primaria que se produce se envía al sistema de mezcla para obtener gasolinas comerciales: Gasolina 84, gasolina 90 y gasolina 95.

El AGO es un producto intermedio que se envía a la Unidad de Craqueo Catalítico como carga.

- b. Unidad de Destilación al Vacío (UDV): El crudo reducido ingresa a esta unidad y es calentado en hornos de combustión hasta una temperatura de 400°C. La corriente parcialmente vaporizada ingresa a una columna de destilación al vacío en donde se efectúa la separación de otros productos como el LVGO, MVGO, HVGO y el residuo de vacío que se produce en el fondo de la fraccionadora. La presión de vacío en la columna se obtiene mediante eyectores de vapor localizados en el tope de la misma.

El LVGO y el MVGO es un producto que se envía al sistema de mezclado de Diesel para incrementar el Diesel.

El HVGO es un producto intermedio que es enviado como carga de la Unidad de Craqueo Catalítico, el excedente producido es almacenado en tanques para ser exportado.

El residual de vacío producido es enviado al sistema de mezclado de residuales para obtener el R500 y R6, y también es enviado como asfalto si se obtiene de la operación asfalto.

- c. Unidad de Craqueo Catalítico (FCC): Los gasóleos de la UDP y UDV ingresan a la Unidad de Craqueo Catalítico en presencia de un catalizador a las condiciones de 690 a 720°C y 2.2 kg/cm², y se obtienen los productos comerciales: GLP, gasolina craqueada, aceite cíclico ligero (LCO), aceite cíclico pesado (HCO) y un residual se produce por el fondo.

La gasolina craqueada es enviada al sistema de mezclado para producir gasolinas comerciales: Gasolina 84, gasolina 90 y gasolina 95.

El LCO es usado como material de corte y en los sistemas de flushing de bombas.

El HCO es usado como material de corte.

El residual es enviado al sistema de mezcla de residuales para obtener R500 y R6.

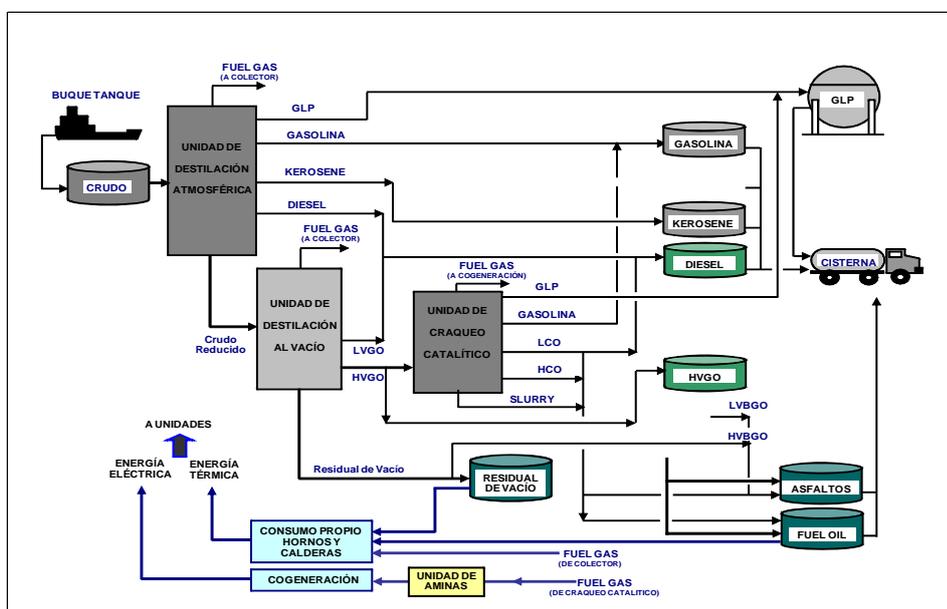


Diagrama 2.1: Esquemático de la Refinería de Petróleo

- d. Servicios Industriales (Utilities): Comprende a todas las unidades que suministran los servicios auxiliares requeridos por los procesos de la refinería. Comprende: Generación de vapor en calderas, unidad de cogeneración, sistema de combustibles, agua cruda, producción de agua tratada, aire comprimido, sistema de enfriamiento, etc.

2.2. Antecedentes de la investigación

Para el desarrollo de este trabajo de tesis tenemos como antecedente el artículo encontrado en la Hydrocarbon Processing, publicado el 05 de marzo del 2009, el cual resumimos a continuación:

El principal objetivo de las refinerías es incrementar la producción de gasóleos. Altas producciones significa altos puntos de corte del punto de destilación real (TBP). A una misma presión, para incrementar el punto de corte TBP, se eleva la temperatura del horno por lo tanto la temperatura de la zona flash.

Condiciones de operación críticas en Unidades de Destilación al Vacío:

El problema más común de las Unidades de Destilación al Vacío es, la formación de coque en los tubos del horno y en la zona de lavado, lo cual es un tema que ha sido discutido en muchos artículos. La coquificación de la zona de lavado es un problema común que afecta al ciclo de operación de la unidad. En varios casos, la formación de coque puede ocurrir en los hornos y la zona de lavado, en menos de un año.

El coque en la zona de lavado causa problemas en la calidad del HVGO, bajos rendimientos del mismo y paradas de planta no programadas para reemplazar el empaque. Casi todas las columnas de vacío que operan con una temperatura en la zona flash sobre el rango de los 388°C a 393°C tienen problemas de coquificación en la zona de lavado y tienen un ciclo de operación de menos de 4 años. Un inadecuado reflujo en la zona de lavado es una de las causas primarias para problemas de coquificación.

Para prevenir la formación de coque se requiere mantener suficiente flujo en la zona de lavado para mantener húmeda la parte central del lecho, de otra

manera se crea zonas estancadas con altos tiempos de residencia. Coque se forma en el centro porque es la parte del lecho que no se moja.

2.3. Bases teóricas

La formación de coque internamente en una fraccionadora de vacío es la causa común de pérdidas de producción de gasóleos, pobre calidad del gasóleo y paradas de planta no programadas.

Hay muchas causas potenciales de formación de coque en la zona de lavado:

- Altas temperaturas a la salida del horno, pueden causar craqueo y ésta una coquificación severa en la zona de lavado y el fondo de la columna
- Disminución del reflujo en la zona de lavado.
- Un mal diseño de la zona de lavado.
- Altos tiempos de residencia favorecen a la formación de coque.

En la figura 2.2., se muestra posibles puntos donde se puede formar el coque. El coque puede formarse en los empaques, en la bandeja colectora debajo del empaque.

La presencia del coque en las fraccionadoras de las Unidades de Destilación al Vacío, pueden causar paradas periódicas para reemplazar su zona de lavado.

La causa raíz debe ser identificada para corregir y evitar el problema sino de otra manera la formación de coque continuara.

Soluciones simples, como el cambio de empaque cuando se produce el problema, reemplazo de un distribuidor tipo spray por un distribuidor de

gravedad, para mejorar la distribución del reflujo en todo el lecho de la zona de lavado y evitar zonas secas, son algunas soluciones, pero se requiere parar la unidad.

Poner alarmas de control es decir mejorar el seguimiento de las variables de operación, pero lo importante es identificar el motivo.

El coque en la zona de lavado se deposita en el empaque propiamente o en la bandeja colectora del lecho. Inicialmente la formación de coque puede reducir producción de HVGO debido al incremento de la caída de presión.

Es importante mantener una cantidad mínima en el reflujo de la zona de lavado, para evitar la coquificación, si la temperatura y el tiempo de residencia son suficientemente altos para formar coque.

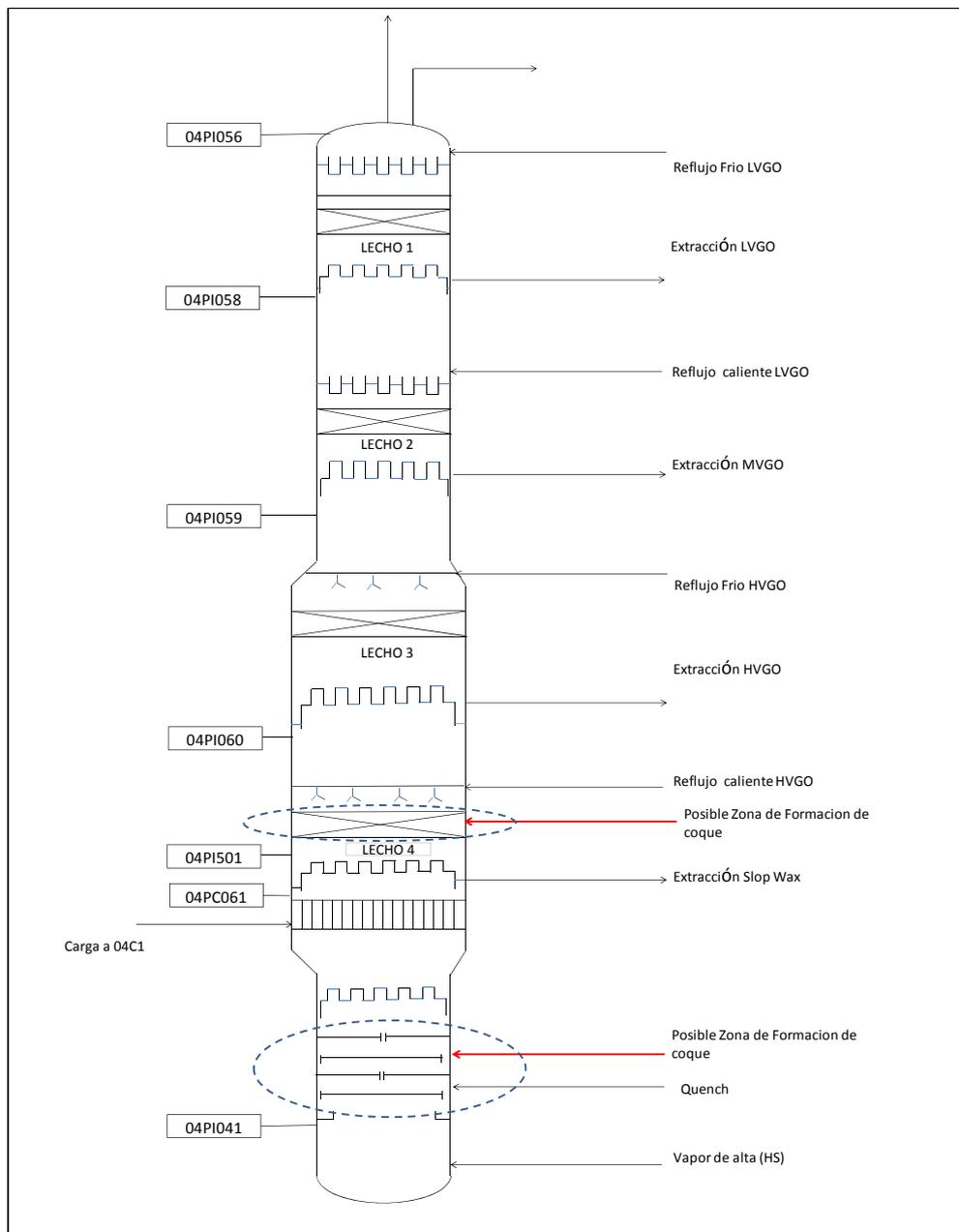


Figura 2.2. Zonas de Formación de Coque en una Columna de Vacío

En resumen, el ensuciamiento en cualquiera de las partes de la fraccionadora genera:

- **Perdida de energía:** Reduce la cantidad de calor recuperado a través de los intercambiadores, compensado en el horno con mayor consumo de combustibles. Las altas cargas en el horno a menudo reducen la eficiencia e incrementan el proceso de coquificación en el mismo agravando más el problema de compensación con combustible extra para mantener la temperatura de salida del horno.
- **Caída de presión:** Pude producirse una fuerte caída de presión, en algunos casos este efecto es tan severo que puede limitar hidráulicamente la unidad, teniendo que reducir el caudal de procesamiento con la consiguiente pérdida de producción.
- **Costo de mantenimiento:** Altas tasas de ensuciamiento en equipos, puede aumentar los requerimientos de limpieza, por lo que si no se posee un equipo de reemplazo, se debe recurrir a la parada no programada con pérdida de producción y costos de limpieza de equipos.
- **Planificación de las operaciones:** Modernas refinerías requieren cada vez más tiempos precisos de producción con mayores tiempos de campaña y menores tiempos de paradas planificadas. Flexibilidad y confiabilidad son elementos claves para prevenir paradas no programadas, lo cual es imprescindible para el cumplimiento de contratos de venta.

El ensuciamiento también puede producir problemas de calidad en los productos finales, lo cual genera mayores costos por reproceso.

2.4. Marco conceptual.

1. **UDP:** Unidad de destilación primaria.

2. **UDV:** Unidad de destilación al vacío.

3. **FCC:** Unidad de craqueo catalítico.

4. **AGO:** Atmospheric gas oil.

Gasóleo atmosférico, es un gasóleo proveniente de una Unidad de Destilación Primaria.

5. **LVGO:** Light Vacuum gas oil.

Gasóleo ligero de vacío, es un gasóleo proveniente de una Unidad de Destilación al Vacío. Se envía para el sistema de mezcla de Diesel.

6. **MVGO:** Medium Vacuum gas oil.

Gasóleo mediano de vacío, es un gasóleo proveniente de una Unidad de Destilación al Vacío. Se envía para el sistema de mezcla de Diesel.

7. **HVGO:** Heavy Vacuum Gas Oil.

Gasóleo pesado de vacío, es un producto proveniente de una Unidad de Destilación al Vacío. Se envía una parte para la Unidad de Craqueo Catalítico y la otra parte a tanques de almacenamiento para exportación.

8. **LCO:** Light Cycle Oil.

Aceite cíclico ligero, es un producto proveniente de una Unidad de Craqueo Catalítico. Se usa como material de corte y flushing de bombas.

9. HCO: Heavy Cycle Oil.

Aceite cíclico pesado, es un producto proveniente de la Unidad de Craqueo Catalítico. Se usa como material de corte.

10. TBP: True Boiling Point Punto de destilación real. Es obtenida mediante la destilación, según norma ASTM D2892. La obtención de la curva de destilación de la curva TBP sirve para la caracterización del crudo.

11. ASTM: American Standard Testing and Material.

Estándares Americanos de pruebas y materiales.

12. Norma ASTM D 86: “Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products” - Método para destilación de productos de petróleo.

13. Norma ASTM D 1160: “Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Reduced Pressure” – Método para destilación de productos de petróleo a presión reducida.

14. Norma ASTM D 189: “Standard Test Method for Conradson Carbon Residue of Petroleum” – Método para determinar el carbón Conradson en residuo de petróleo.

15. Norma ASTM D 1548: “Standard Test Method for Vanadium in Fuel Oil”– Método para determinar el contenido de vanadio en combustibles.

16. Wash oil – Aceite de lavado

Es parte del flujo extraído de la corriente de HVGO que es enviado sobre el lecho de lavado para remover los depósitos que pudieran formarse como son carbón y metales. Ver figura 2.3.

17. Overflash

El overflash es definido como la cantidad de hidrocarburo vaporizado en la zona flash que es retornado a la misma como líquido. El overflash es el líquido que previene al lecho de la formación de coque. Una máxima producción de gasóleos produce mínimo overflash. Ver figura 2.3.

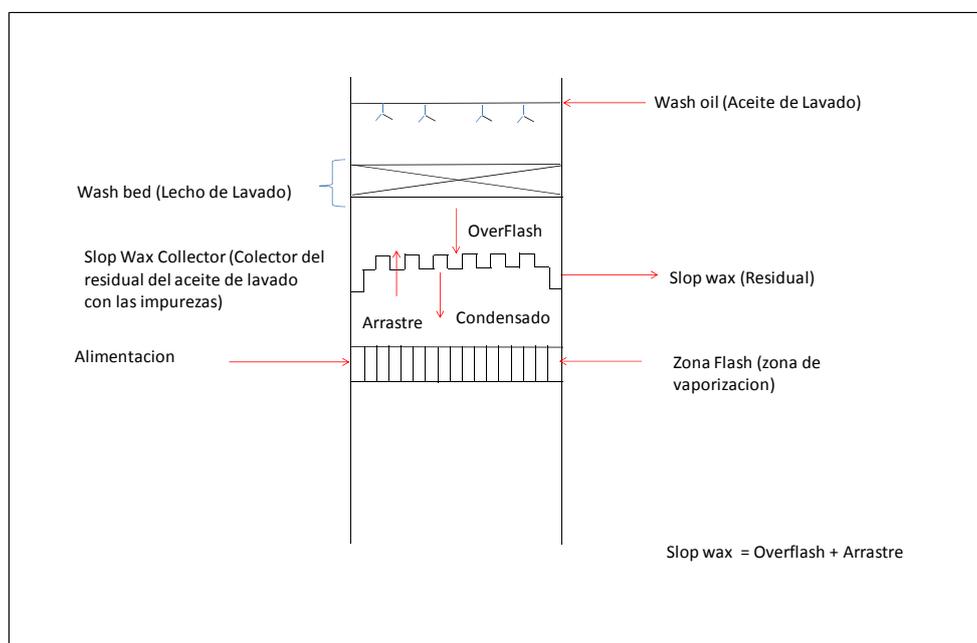


Figura 2.3. Esquema detallado de la zona de lavado

18. Slop wax

Es el líquido residual colectado en la parte inferior de la zona de lavado, es típicamente reinyectado directamente o conjuntamente con la carga nuevamente a la fraccionadora. En esta unidad es reinyectado a la línea de carga. Ver figura 2.3.

19. Condensado

Es el líquido que condensa fuera de la bandeja colectora y cae en la zona flash. Ver figura 2.3.

20. Dry out

Es la relación de flujo de lavado y el overflow (flujo de lavado / flujo de overflow). Se calcula asumiendo que la zona flash está en una etapa de equilibrio. Teóricamente en la zona flash se tiene un dry out cerca de 3 a 1, pero esta relación de dry out es mucho más alto que 3 a 1, por instantes es 6 a 1, es decir el flujo de lavado necesita ser el doble para el mismo overflow. El flujo de lavado en varias unidades tendrá que incrementarse por sobre el 100 % del flujo de diseño para evitar el coque.

21. Coque

Son depósitos de carbón producto de desintegración térmica.

22. Columna de fraccionamiento.

En la columna de vacío se distinguen tres zonas perfectamente diferenciadas:

- Zona flash, es la parte de la columna por donde entra el crudo reducido de alimentación a la fraccionadora. La temperatura de esta zona depende de la temperatura de salida del horno, la pérdida que existe en la línea de transferencia, el reflujo interno y los vapores que suben. El dispositivo de entrada es radial tipo Shell Shoepentometer, el cual permite una máxima área libre de ingreso, nula pérdida de presión, menor requerimiento de

mantenimiento y menor contacto del producto con las paredes de la columna.

- Zona de Rectificación, en esta zona hay cuatro lechos de paquetes de relleno estructurado, cuatro colectores del tipo plato de chimeneas situados debajo de los lechos, cuatro distribuidores sobre los lechos por donde entran los líquidos de reflujo y el aceite de lavado y 04 platos tipos "chimenea". El material utilizado en la fabricación de todos estos elementos es AISI 316L.

Las características de los rellenos en cada lecho son:

LECHO	DIÁMETRO	TIPO	ALTURA	ESPESOR
LVGO	4200	M125X (07 "camas")	1568	0,2
LVGO/HVGO	4200	M2Y (13 "camas")	2730	0,1
HVGO	6700	M125X (07 "camas")	1568	0,2
LAVADO	6700	M2Y/MG40Y (6 y 2 "camas")	1260/410	0,1

Nota: dimensiones expresadas en mm.

Las características de los distribuidores de cada lecho son:

LECHO	CAUDAL MÍNIMO	CAUDAL NORMAL	CAUDAL MÁXIMO	TIPO
LVGO	109,1	157-168	209,8	Gravedad (VEP)
LVGO/HVGO	17,7	25-26	46	Gravedad (VEP)
HVGO	---	340-390	---	Presión (VRD)
LAVADO	---	53-66	---	Presión (VRD)

Nota: caudales a P,T expresados en m3/h.

- Zona baja o Fondo, en ella se podemos encontrar 04 platos de despojamiento tipo SVG de Nutter de dos pasos, los que cuentan con válvulas de abertura fija (no regulables) y un plato de chimenea ubicado por encima del primer plato de despojamiento. El material de fabricación es AISI 316L.

23. Empaques estructurados: Consiste en delgadas planchas de metal corrugado, cuyo objetivo principal es incrementar la superficie de contacto entre diferentes fases. Tiene mayor eficiencia y capacidad.

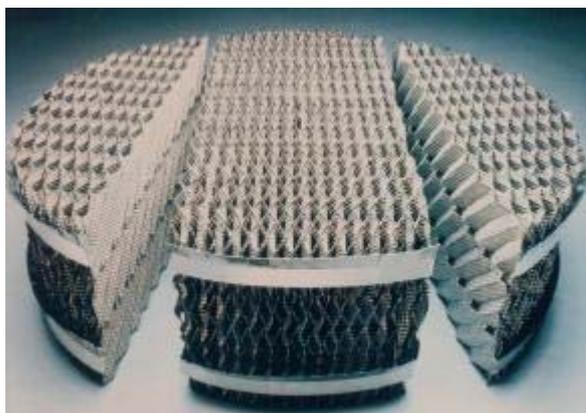


Figura 2.4. Empaques estructurados

24. Lecho empacado o packed bed.

Es una zona dentro de un recipiente que está lleno de material empaque. Para este trabajo el lecho empacado está conformado por empaque estructurado.

25. Plato teórico:

Es una zona hipotética o etapa en la que dos fases como el líquido y el vapor, establecen un equilibrio entre sí. Estas zonas o etapas de equilibrio pueden ser denominadas como una bandeja teórica o una etapa de equilibrio.

26. Columna húmeda:

Una columna es denominada del tipo húmeda cuando se inyecta vapor por el fondo de la misma. El vapor reduce la presión parcial del hidrocarburo, favoreciendo a la destilación.

27. Shell Shoepentoeter

Es un dispositivo de entrada radial, usado comúnmente para ingresar una mezcla de gas/líquido. El propósito de un shopentoeter, es disminuir la fuerza de la alimentación, realizar una primera separación de sólidos y líquidos del gas.



Figura 2.5. Shell Shoepentoeter

28. Distributor VEP

Es el distribuidor de líquidos más ampliamente usados, Su sistema de descarga tiene varias ventajas: Tiene una dimensión de agujeros más grandes que los sistemas de descarga convencional, el líquido alimentado o reflujo es pre distribuido desde su canal principal hacia canales individuales garantizando una distribución uniforme. En la figura 2.6, se muestra el distribuidor VEP.



Figura 2.6. Distribuidor VEP

29. Distribuidor VRD:

El distribuidor VRD es especialmente diseñado para uso en Refinería. La descarga es realizada por unas boquillas tipo spray, la cual su selección es crucial para la operación de la columna. En la figura 2.7 se muestra el distribuidor VRD.



Figura 2.7. Distribuidor VRD

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

Para el desarrollo de presente trabajo de tesis, se ha realizado una investigación científica, es decir basada en hechos y evidencias. Procediendo de la siguiente manera:

1. Revisión de la data histórica, realizando una serie de tendencias en función al tiempo de condiciones de operación y de calidad.
2. Los indicadores identificados los hemos clasificados en indicadores principales que muestran los hechos que venían ocurriendo y los otros indicadores son los indicadores de evidencia que muestran las consecuencias generadas.

Indicadores para identificar y cuantificar problemática

INDICADOR	MEDICIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA	RANGOS
Flujo de lavado.	Directa.	Medición 04FC049	Objetivo recomendado = 53 m ³ /h
Caída de presión zona de lavado.	Indirecta.	Diferencia de medidores 04PI060 – 04PI501	Diseño = 4 mmHg
Punto de corte.	Indirecta.	Con los datos de rendimiento y destilación de HVGO	Temperatura de corte objetivo = 550°C
Presión de la zona flash	Directa	Medición 04PC061	Objetivo recomendado = 68 mmHg

Indicador para evidenciar problemática

INDICADOR	MEDICIÓN	EXPRESIÓN MATEMÁTICA	RANGOS
Temperatura de la zona flash	Directa	Medición 04TI096	390° – 395°C
$T_{95\%HVGO} - T_{5\%LVGO}$	Indirecta	$T_{95\%HVGO} - T_{5\%LVGO}$	$T_{95\%HVGO} - T_{5\%LVGO} > 10^{\circ}\text{C}$
Carbón Conradson en HVGO	Directa	Resultado del Laboratorio	Carbón Conradson < 0.6% masa
Contenido de vanadio en HVGO	Directa	Resultado del Laboratorio	Vanadio < 3 ppm

3. Se revisó información de revistas y se realizaron consultas sobre la problemática encontrada.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA EVALUACION

4.1. DESCRIPCION DE LA SITUACIÓN

La Unidad de Destilación al Vacío procesa crudo reducido de las unidades de destilación y tiene una capacidad de 36,000 BPD. Tiene una fraccionadora de lecho empacado, de cuatro lechos y se extraen tres productos: LVGO, MVGO y HVGO y por el fondo residual de vacío. Cuenta con un sistema de eyectores de tope para generar el vacío en la columna. Columna del tipo húmeda.

En el diagrama 4.1 se indica las corrientes principales que son extraídas, así como los flujos de diseño obtenidos para una corrida de 100% de crudo Oriente ecuatoriano.

También, se aprecia los indicadores de presión, los cuales usaremos para medir la caída de presión en cada lecho.

El MVGO inicialmente se enviaba al HVGO, pero luego de evaluar su calidad del HVGO se decidió enviar junto con el LVGO al Diesel.

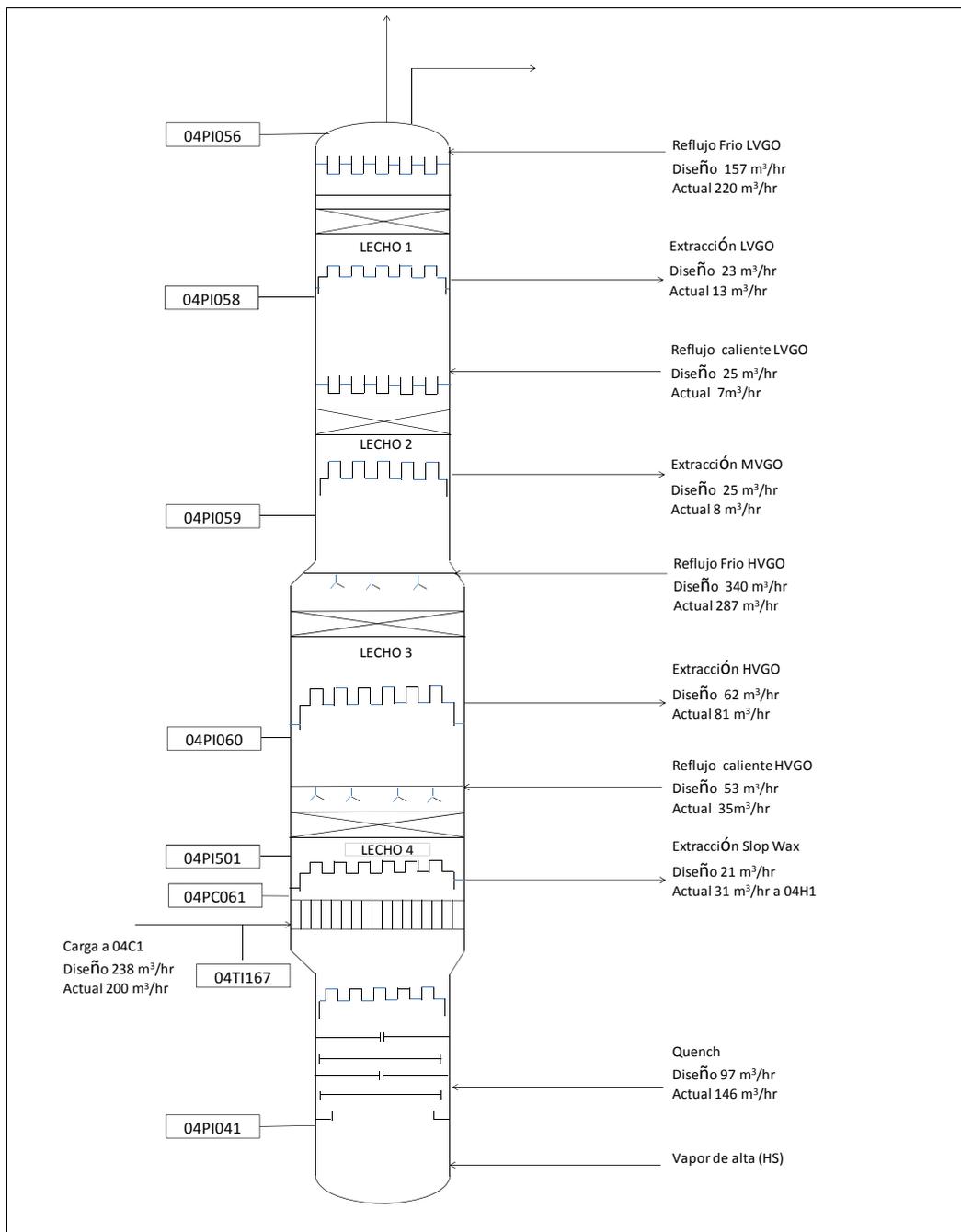


Figura 4.1: Diagrama Esquemático de la Columna de vacío

El decrecimiento progresivo de la presión de vapor en los eyectores de tope desde una presión de operación típica de 16 kg/cm² a 11 kg/cm², así como, las limitaciones de flujo de procesamiento en altas cargas, causaron la necesidad de evaluar la Unidad de Destilación al Vacío.

La Unidad de Destilación al Vacío, desde su arranque en el año 2005, operó cumpliendo las especificaciones de calidad. El LVGO se enviaba al pool de Diesel y el HVGO, una parte a la unidad de craqueo catalítico y la otra parte a tanques de almacenaje para su exportación.

La Unidad de Destilación al Vacío, también está preparada para reprocesar HVGO proveniente de otras Unidades de Destilación al Vacío.

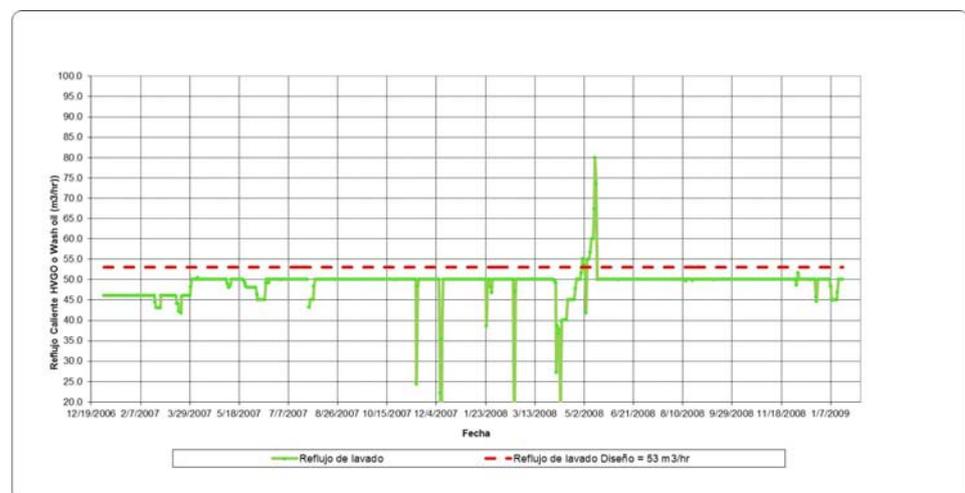
El control de calidad al HVGO producido en la Unidad de Destilación al Vacío es: API, Destilación, Contenido de Carbón Conradson, y contenido de metales como Vanadio, principalmente.

La unidad opero con los reprocesamientos eficientemente; sin embargo, a 3 años de su periodo inicial, en enero del 2008 se detecta el inicio de problemas en el sistema de tope. El agua de enfriamiento había incrementado su temperatura de circulación, lo cual generaba pérdida de vacío. Cuando se intentó recuperar las condiciones con las que operaba la unidad, se presentaron otros inconvenientes como arrastre de carbón y metales, lo que originó disminuir la presión de vapor de los eyectores, y disminuir el vapor de fondos de la columna de la Unidad de Destilación al Vacío.

a. Reflujo de HVGO en la zona de lavado

Revisando las variables principales se encontró que el reflujo de la zona de lavado estaba en valores por debajo de $53 \text{ m}^3/\text{h}$, valor recomendado por diseño. Durante el periodo evaluado se encontraba en $50 \text{ m}^3/\text{h}$; sin embargo se encontró que se había fijado en $45 \text{ m}^3/\text{h}$ durante el 2006 y principios del 2007.

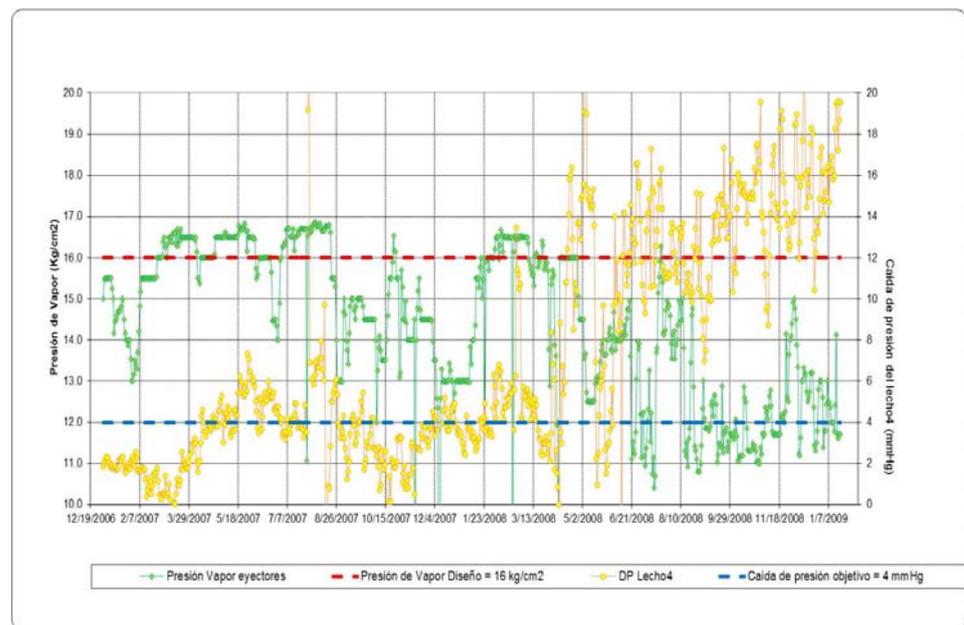
En la gráfica 4.1, se observa que disminuyeron el reflujo de la zona de lavado hasta valores de $40 \text{ m}^3/\text{h}$ y luego se incrementó hasta los $80 \text{ m}^3/\text{h}$, cuando tuvieron los problemas de arrastre de carbón. Acción no recomendada por que acelera la coquificación (disminución del reflujo) y por otro lado se produce inundación (aumento del reflujo).



Gráfica 4.1. Reflujo de HVGO en el lecho 4 o zona de lavado

b. Caída de presión del lecho 4 y presión de vapor de eyectores

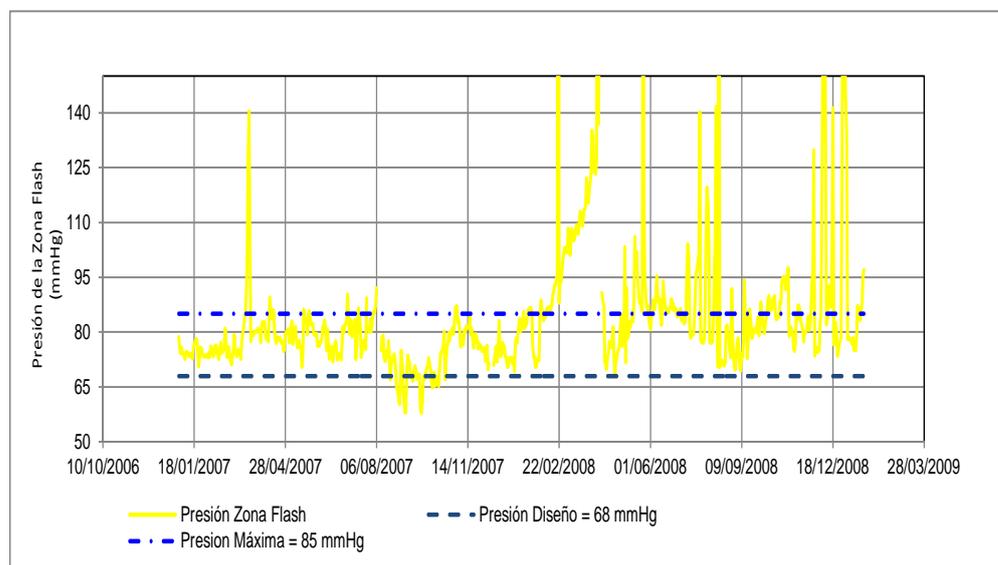
En la gráfica 4.2. se aprecia una tendencia a incrementar la caída de presión del lecho 4 (línea de color anaranjado). Así como, la tendencia a disminuir la presión de vapor de los eyectores (línea de color verde).



Gráfica 4.2. Evaluación de la presión de vapor de eyectores y caída de presión del lecho 4 en el tiempo.

c. Presión de la zona flash

En la gráfica 4.3, se aprecia una tendencia a incrementar la presión de la zona flash; en esta zona se tiene un indicador y un controlador de presión, los cuales muestran un comportamiento similar, valores que en muchas ocasiones sobrepasaban el valor máximo de 85 mmHg, con la consecuente restricción en el flujo de procesamiento y disminución del consumo de vapor de fondos.

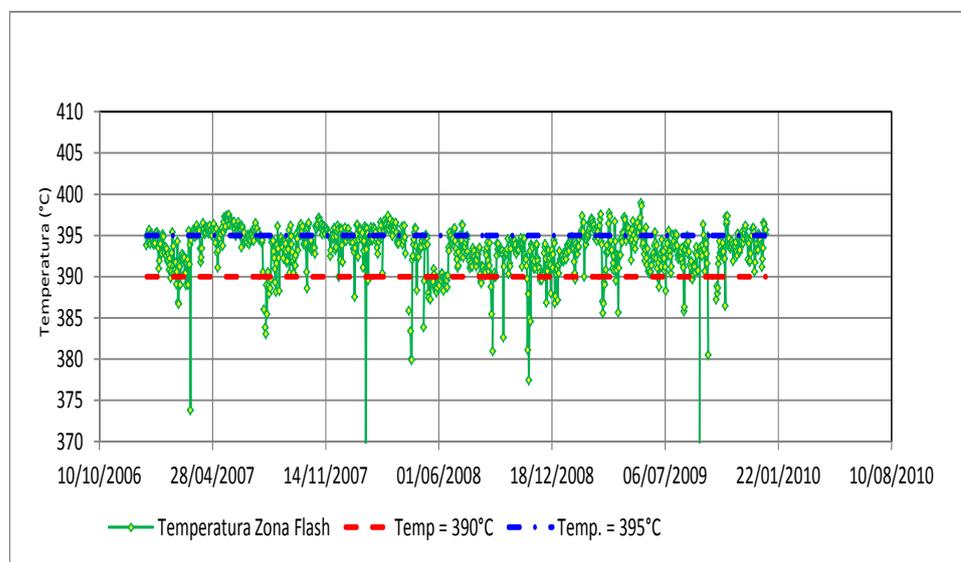


Gráfica 4.3. Evaluación de la presión de la zona flash en el tiempo.

d. Temperatura de la zona flash

La temperatura de la zona flash junto con la presión, son las más importantes variables a controlar para obtener un buen fraccionamiento en cualquier proceso de destilación.

En la gráfica 4.4, se muestra como la temperatura de la zona flash se ha mantenido en valores de control no superando los 400°C, temperatura a la cual ya se produce craqueo térmico.

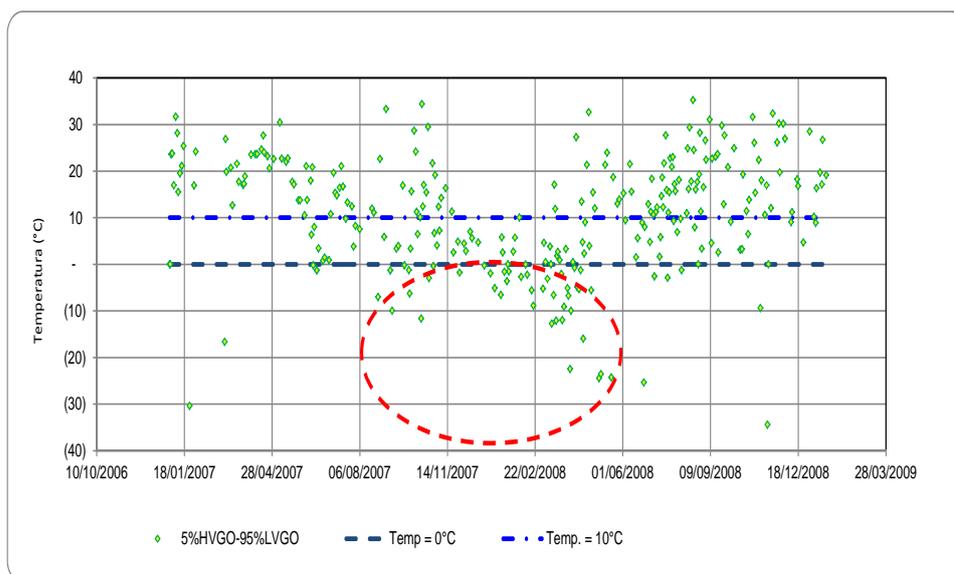


Gráfica 4.4. Evaluación de la temperatura de la zona flash en el tiempo.

e. $T_{5\% \text{ HVGO}} - T_{95\% \text{ LVGO}}$

Este indicador nos permite mostrar el desmejoramiento en el fraccionamiento. Entre finales de 2007 y principios del 2008, se aprecia un overlap de 10°C entre el HVGO y LVGO. Es decir parte del LVGO se está yendo en el HVGO, lo cual no es conveniente por que el LVGO se envía al Diesel.

El desmejoramiento en el fraccionamiento es casi coincidente con el inicio del incremento en la presión de la zona flash.



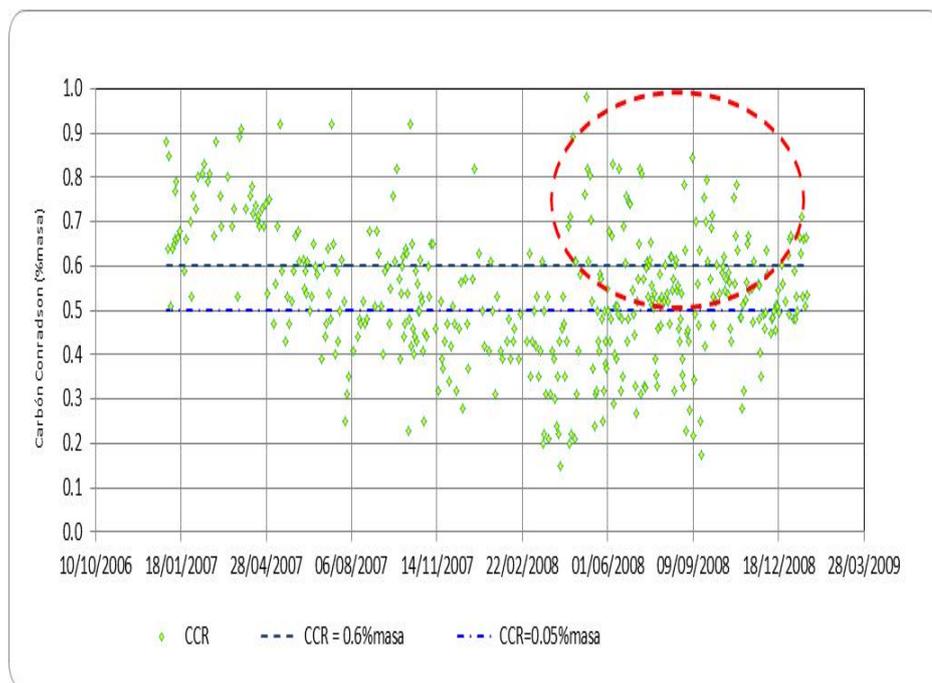
Gráfica 4.5. Evaluación 5%HVGO-95%LVGO en el tiempo.

f. Residuo de carbón Conradson

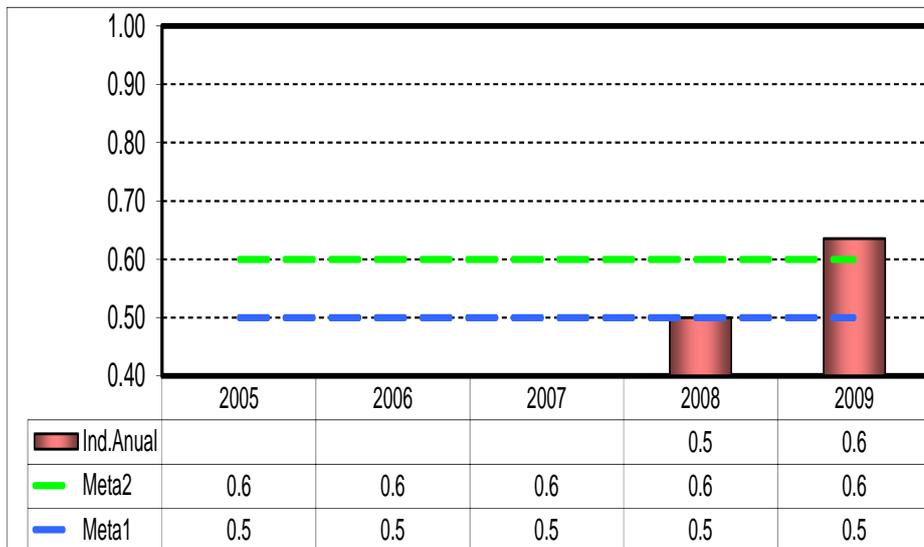
Este indicador es el resultado de un análisis de Laboratorio que se realiza mediante la prueba ASTM D189.

En el grafico 4.6.B, se muestra el incremento de los valores de Carbón Conradson en el 2009, en comparación al año 2008 en donde se detecta los primeros problemas operativos en la columna.

En el grafico 4.6.A. se muestra que a mediados del 2008, los valores de Carbón Conradson se incrementan y se mantienen en valores altos de manera sostenida. Esto nos indicaría que el coque que se está depositando en la zona de lavado, está siendo arrastrado hacia el HVGO.



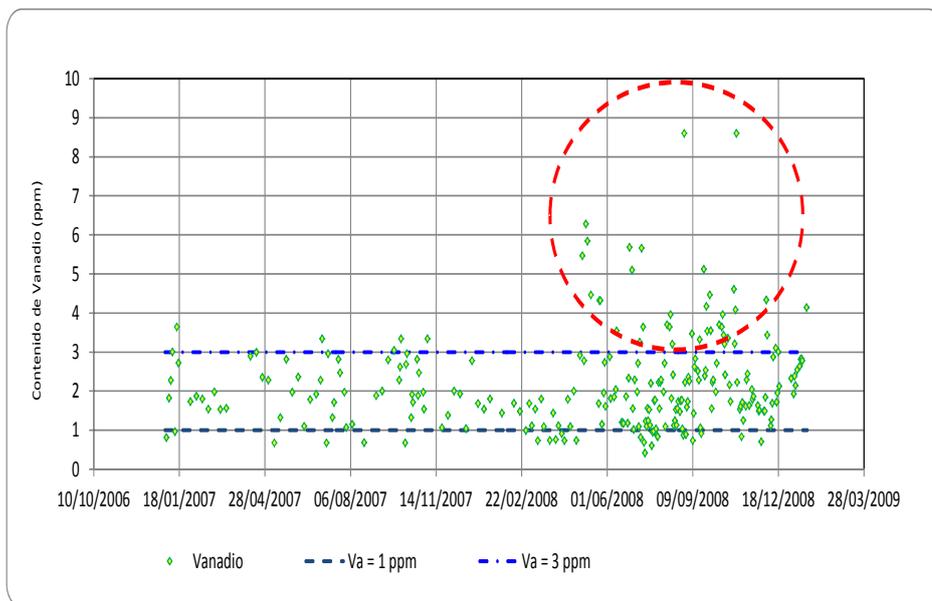
Gráfica 4.6.A. Residuo de Carbón Conradson en el HVGO.



Gráfica 4.6.B. Promedios anuales del residuo de Carbón Conradson en el HVGO.

g. Contenido de Vanadio

Al igual que el carbón, el contenido de vanadio en el HVGO también se incrementa en las mismas fechas.



Gráfica 4.7. Contenido de vanadio en el HVGO.

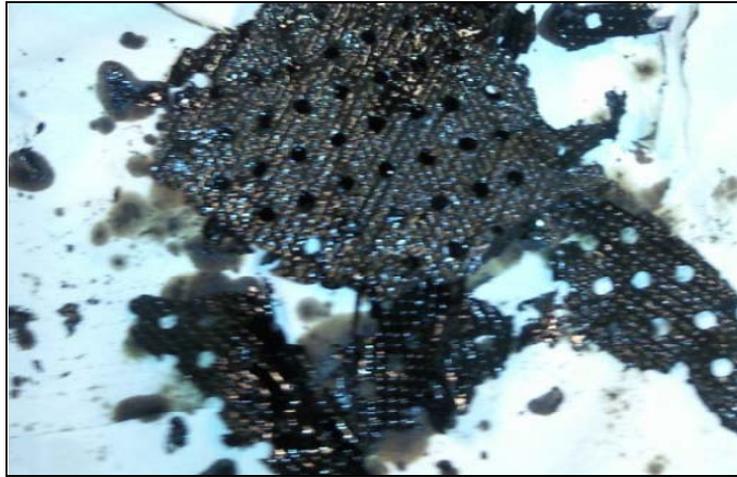
h. Evidencias fotográficas

A principios del cuarto año del periodo, en el filtro de la bomba de slop wax se encontró residuos de empaque provenientes del lecho 4. Se revisó el estado de la muestra del empaque, el que se encontraba con una consistencia similar a un empaque nuevo. Lo que evidenciaba que, la presencia de restos de empaque, no era causado por un proceso de corrosión por ácidos nafténicos, el cual destruye el material del empaque y lo fragiliza y rompe, sino estábamos en presencia de otro problema.

Al revisar con detalle y con pruebas de laboratorio, se verificó que el material sólido de color negro que se encontró sobre la superficie de la muestra era coque. Es decir se tenía un proceso de coquificación en la zona de lavado de la columna.



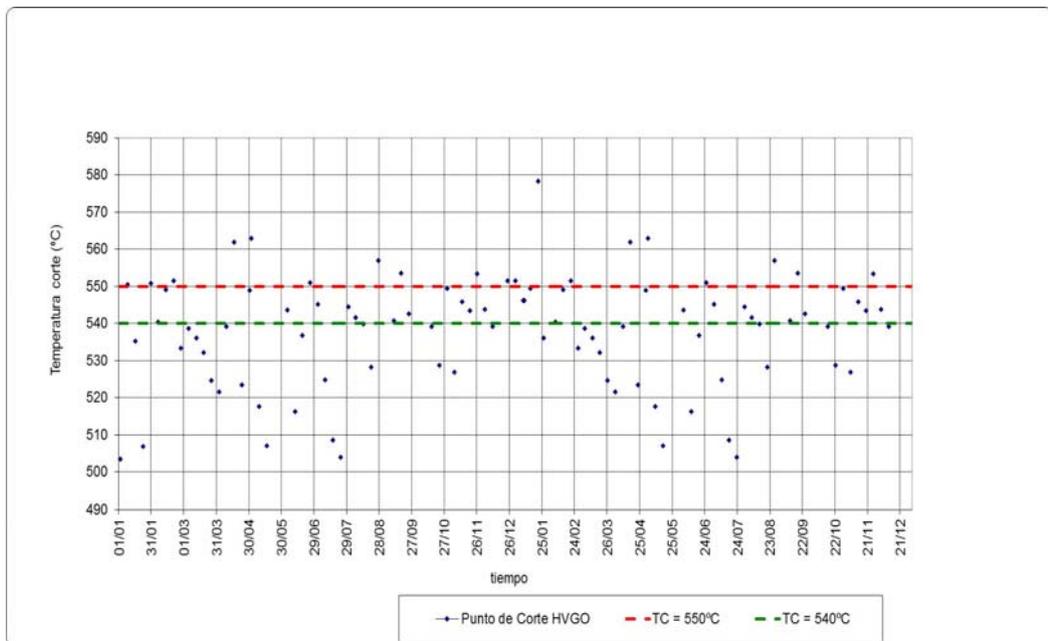
Gráfica 4.7.A. Parte del lecho 4 con coque sobre su superficie.



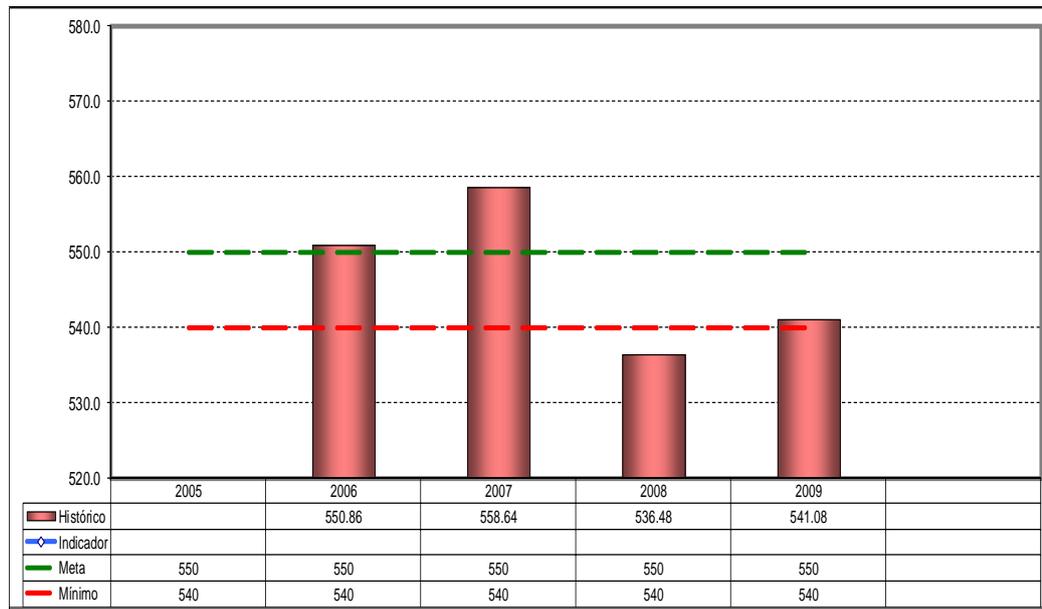
Gráfica 4.7.B. Parte del lecho 4 con coque sobre su superficie.

4.2. EVALUACION DE LOS RENDIMIENTOS DE HVGO:

- En el gráfico 4.9A se tiene los puntos de corte para el HVGO de la columna de destilación al vacío, para el periodo 2008 – 2009, apreciándose un comportamiento variable, estando la mayor parte del tiempo por debajo de 550°C (objetivo).
- En abril de 2007, el punto de corte antes de reprocesar los gasóleos, se encontraba en 550°C, punto de corte base para la evaluación.



Gráfica 4.9.A Temperatura de corte para el periodo 2008 – 2009



Gráfica 4.9.B Promedios anuales de temperatura de corte.

4.3. EVALUACION DE LOS RENDIMIENTOS DE GASOLEOS CONSIDERANDO RANGOS DE CARGA Y ESTRUCTURA DE CARGA DE CRUDO MAYORITARIAMENTE ORIENTE

En esta sección, hemos filtrado datos considerando el procesamiento de una similar estructura en la carga de Unidad de Destilación Primaria, principal aportante de carga a la Unidad de Destilación al Vacío, considerando al crudo Oriente ecuatoriano, como el crudo base en mezcla con otros. No se considera en la estructura el crudo Bijoupira por tener alto contenido de ligeros, que cuando se procesa favorecería a incrementar la presión de la zona flash de la columna.

Se considera la carga como la suma de la carga “negra” (crudo reducido de UDPII más residual de otra Unidad de Destilación al Vacío) más reprocesamientos (AGO más HVGO de otra Unidad de Destilación al Vacío). La carga de 36 MBPD está referida a la carga “negra”, el reprocesamiento ingresa por el reflujo frío de LVGO.

Establecida la estructura se divide la evaluación en dos escenarios:

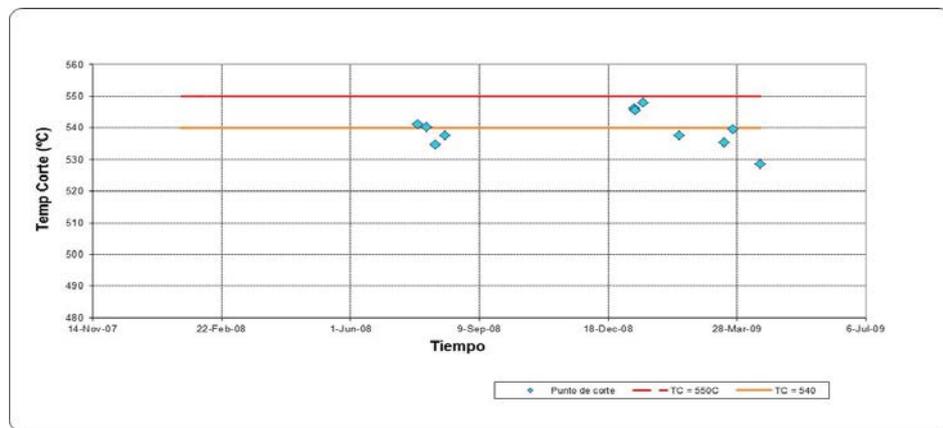
- a. Baja carga entre 20,000 y 33,000 BPD y
- b. Alta carga entre 37,000 a 40,000 BPD

La pérdida de HVGO se estima de la diferencia entre el rendimiento si se tendría un punto de corte de 550°C menos el rendimiento con el punto de corte real.

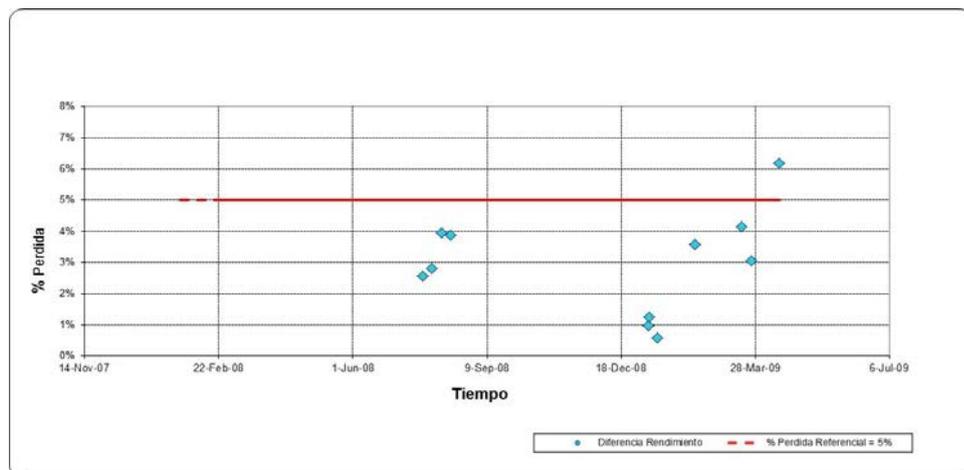
RANGO DE CARGA ENTRE 20,000 A 33,000 BPD:

Para este rango de carga en la fraccionadora, como se muestra en la gráfica 4.10A, el punto de corte ha estado próximo a los 540°C.

En el grafico 4.10B, se muestra la perdida en rendimientos comparando con un punto de corte de 550°C, la pérdida fluctúa entre 2 a 4%, que representa 800 a 1,320 BPD de HVGO que se envían a residuales.



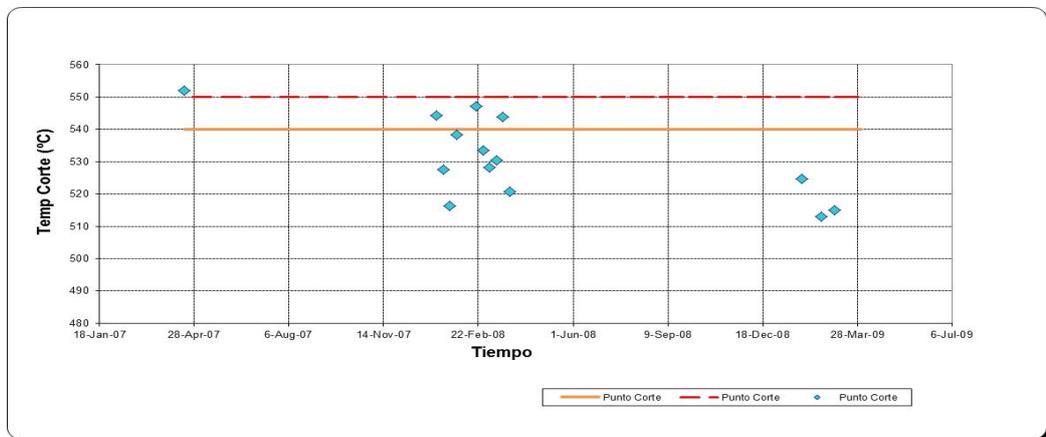
Gráfica. 4.10.A. Puntos de Corte del HVGO para el rango de 20,000 a 33,000 BPD



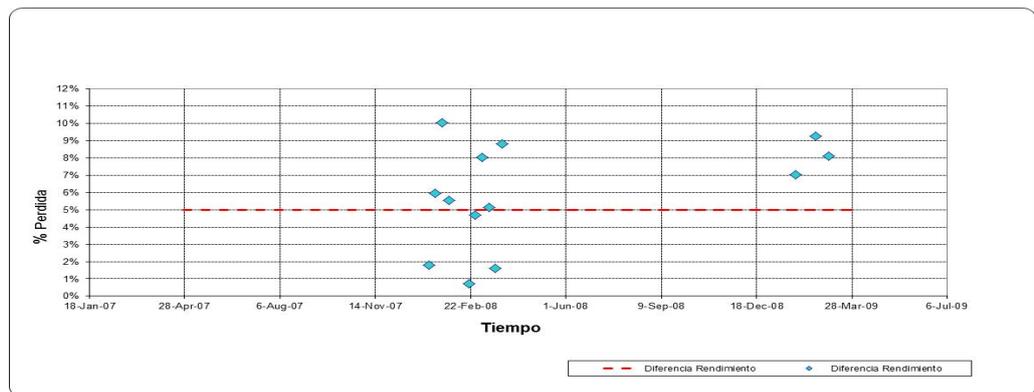
Gráfica 4.10.B. % Pérdida comparando con el punto de corte objetivo

RANGO DE CARGA ENTRE 37,000 A 40,000 BPD:

En la gráfica 4.11.A, se observa una disminución del punto de corte entre el 2007 y 2009, desde 560°C hasta valores menores de 520°C. En la gráfica 4.11.B se presenta la pérdida en rendimientos de gasóleos originada por la disminución del punto de corte, lo cual fluctúa entre un 2 a 10%, que representa 2,960 a 3,200 BPD. La perdida se sostiene entre 8 a 10%.



Gráfica 4.11.A. Puntos de corte del HVGO para el rango de 37,000 a 40,000 BPD



Gráfica 4.11.B. % Perdida comparando con el punto de corte objetivo

4.4. ESTIMADO ECONÓMICO DE PERDIDA

El diferencial entre HVGO de exportación y HVGO como material de corte se ha estimado es de 4.28 US\$/Bbl.

En la tabla siguiente, resumimos los estimados de pérdida en función a la carga.

	% HVGO A RESIDU ALES	ESTIMADO DE PERDIDA CONSIDERANDO EL RANGO DE CARGA (BBL HVGO/día)		ESTIMADO DE PERDIDA CONSIDERANDO EL RANGO DE CARGA (MMUS\$/AÑO)	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Baja carga (20 a 33 KBPD)	4%	800	1,320	1.250	2.062
Alta carga (37 a 40 KBPD)	8%	2,960	3,200	4.624	4.999

Tabla 4.1. Estimado de pérdidas por disminución en el punto de corte

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN

En la gráfica 4.4 se muestra que la temperatura de la zona flash, la cual se mantuvo en control, es decir que un proceso por altas temperaturas que hayan producido coque por desintegración o craqueo térmico estaría descartado.

Como se muestran en los gráficos 4.3 y 4.5 el incremento de la presión en la zona flash generó un mal fraccionamiento en la columna, lo cual se cuantifica en el overlap encontrado entre el corte de HVGO y LVGO.

La alta caída de presión en el lecho 4, o zona de lavado, originó un incremento en la presión de la zona flash; se incrementó de un valor promedio de 68 mmHg (valores concordantes con los de diseño) a valores superiores de 85 mmHg (valor de alarma de alta) lo cual es una condición que no favorece al óptimo fraccionamiento.

5.2. DISEÑO DE LA ZONA DE LAVADO

En el diseño de las Unidades de Vacío, la altura de la zona de lavado está asociada a la temperatura de la zona flash, a mayor temperatura de la zona flash, mayor la altura de la zona de lavado. Hemos encontrado que para una columna que opera con una temperatura de zona flash de 382°C, en promedio, como es el caso de la fraccionadora a evaluar, una altura de 1 m, o 3 pies, es requerida; sin embargo, la zona de lavado de la fraccionadora

evaluada tiene una altura de 1.67 m, por lo que el problema de coquificación por la altura de la zona de lavado sería descartado.

La zona de lavado fue diseñada para operar con un reflujo mínimo de 53 m³/h; sin embargo, como se muestra en las gráficas este vino operando con valores por debajo de 50 m³/h (Gráfica 4.1). Esto sería una causa-raíz de la coquificación generada en la zona de lavado. El disminuir el reflujo en la zona de lavado incrementa la producción de HVGO, pero una mayor extracción de HVGO es menor overflash, lo que a su vez aumenta la probabilidad de coquificación.

5.3. RENDIMIENTO DE HVGO

En general el punto de corte del HVGO había disminuido, como se muestra en la gráfica 4.9, en rangos de alta carga la operación se hacía más deficiente, se perdía entre 5 a 10%. En baja carga se perdía menos del 5%. (Gráficas 4.10 y 4.11).

El mal fraccionamiento, permite enviar el HVGO producido hacia residuales en lugar de enviarlo a tanques de almacenamiento para exportación. Considerando su valor, como material de corte se tiene una pérdida de hasta 5 millones de dólares anuales en altas carga. (Tabla 4.1)

5.4. CALIDAD DE HVGO

A mediados del 2008, con una presión de la zona flash elevada y con un fraccionamiento desmejorado, se empieza a tener, en adición a los problemas de arrastre de carbón, el incremento de metales monitoreado principalmente por el contenido de vanadio, ver gráficos 4.6.A y 4.7.

En la prueba de garantía (Performance Test) no se pudo obtener los valores de máximo 1 ppm de vanadio garantizados. Los valores se mantuvieron entre 1 y 3 ppm, durante el periodo de operación sin coque en la zona de lavado de la fraccionadora; sin embargo, con la formación de coque el contenido de vanadio se incrementó a valores superiores a 3 ppm. Esta condición no favorece puesto que el contenido de vanadio es una especificación para el HVGO que se exportaba, y lo que disminuía su valor económico de exportación.

CONCLUSIONES

1. Mantener bajo reflujo en la zona de lavado por tiempos prolongados, originó la progresiva formación de coque en la misma.
2. La formación de coque originó el incremento de la caída de presión. Esta anomalía propicio el mal fraccionamiento de los productos en la columna de destilación al vacío.
3. La formación de coque, inicialmente, no presenta ningún cambio aparente en la calidad de la producción de gasóleos. Las gráficas demuestran cronológicamente que, a comienzos del 2008, la presión de la zona flash se incrementó intempestivamente y a partir de junio del mismo año se aprecia el incremento de vanadio en el HVGO.
4. Para controlar el arrastre de carbón y vanadio, se regula el vacío de la fraccionadora; sin embargo, en algunos casos, la calidad del HVGO no cumplía con los requerimientos de exportación, por alto contenido de vanadio.
5. Si bien se mantuvo la temperatura de salida del horno en las condiciones de diseño, aproximadamente 405°C, para un HVGO de 0.5% en peso de carbón Conradson, se produjo coque en la zona de lavado.

RECOMENDACIONES

1. La columna de destilación al vacío, debe mantener un reflujo constante en la zona de lavado, para evitar la coquificación y aumento de la caída de presión.
2. Mantener el reflujo de lavado en mínimo $53 \text{ m}^3/\text{h}$, según recomendación de diseño.
3. Monitorear la presión antes y después de la zona de lavado, para detectar cualquier incremento de la caída de presión y tomar las acciones operativas que permitan disminuir y eliminar la formación de coque.
4. Realizar la parada de planta programada para inspección y mantenimiento de la fraccionadora de vacío para el reemplazo del lecho 4 o zona de lavado y después del reemplazo y mantenimiento de la fraccionadora, se debe restituir las condiciones de diseño como, el consumo de vapor de fondos, reflujo de lavado en mínimo $53 \text{ m}^3/\text{h}$ según lo recomendado por diseño, y la presión de eyectores. Y verificar la disminución del contenido de vanadio en el HVGO.
5. Así también, correlacionar el carbón Conradson de la carga al horno de vacío con la temperatura en la zona flash de la columna de vacío para identificar la temperatura de craqueo de la carga y determinar la temperatura óptima a la salida del horno.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 LLUCH URPI, José, Tecnología y margen del refino del Petróleo, 1era edición. Madrid: Díaz de Santos, 442, 2008.
- 2 Golden, Scott W, S (1998), Troubleshooting vacuum unit revamps, Petroleum Technology quarterly, pgs., 107-113.
- 3 Yahyaabadi, R, R (2009), Consider practical conditions for vacuum unit modeling, Hydrocarbon Processing, pgs.,