



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química

**Evaluación de la capacidad de procesamiento de la
Unidad de Destilación al Vacío de Refinería Talara**

MONOGRAFÍA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

AUTOR

Jesús Aurelio OSORIO LACHO

ASESOR

Raúl Germán PIZARRO CABRERA

Lima, Perú

2008



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Osorio, J. (2008). *Evaluación de la capacidad de procesamiento de la Unidad de Destilación al Vacío de Refinería Talara*. Monografía para optar el título profesional de Ingeniero Químico. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química, Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Mi agradecimiento a mi esposa e hijos y reconocimiento a mi asesor y amigos quienes me apoyaron . Sin el aporte de ellos no hubiera concluido este trabajo.

CONTENIDO

	Pag.
1. RESUMEN	4
2. ANTECEDENTES	6
3. OBJETIVO	11
4. DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS EXISTENTES: Precalentamiento, Horno Vh-1, Columna de Destilación y Sistema de Vacío	12
5. DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS EN PLANTA	29
6. PROCESAMIENTO DE CARGA LIVIANA	30
6.1 Carga Procesada y Rendimiento de Productos	30
6.2 Calidad de Productos	31
6.3 Condiciones Operativas	35
7. EVALUACION DE PERFORMANCE DE LOS EQUIPOS	40
7.1 Condiciones de Diseño de la Unidad de Vacío	40
7.2 Balance de Materia y Energía	44
7.3 Performance del Horno	47
7.4 Dimensionamiento de la Columna de Destilación	61
8. MODIFICACIONES IMPLEMENTADAS	64
8.1 Modificaciones de Rápida Realización	64
8.1.1 Adecuación de la Unidad de Vacío a Semi-húmedo	64
8.1.2 Cambio de Servicio del Intercambiador de Calor VE1-E	69
8.1.3 Reemplazo de Válvulas de Control del Circuito	72
8.1.4 Instalación de Nueva Bomba de Crudo Reducido	75
8.2 Modificación Con Planta Fuera De Servicio	79
8.2.1 Modificación de la Zona Conectiva del Horno VH-1	79
8.2.2 Reemplazo de la Boquilla de Salida de Crudo Reducido	81
9. PROCESAMIENTO DE CARGAS PESADAS	82
9.1 Evaluación Hidráulica del Circuito de Carga y Crudo Reducido	82
9.2 Evaluación de las Bombas	83
9.3 Performance del Circuito de Intercambio de Calor	83
9.4 Parámetros de Control Operacional de la Torre de Vacío	84
9.5 Balance de Masa de la Torre de Vacío	85
9.6 Evaluación de la Capacidad del Horno VH-1	85
10. EVALUACION ECONOMICA	91
11. RESULTADOS	94
12. DISCUSION DE RESULTADOS	101
12.1 Comentario al Respecto de la Performance del Horno VH-1	101
12.2 Performance de la Torre V-V1	103
13. CONCLUSIONES	105
14. RECOMENDACIONES	107
15. BIBLIOGRAFIA	110
16. ANEXO	111

1. RESUMEN

Se ha estudiado y experimentado mediante pruebas en planta, la factibilidad de incrementar la capacidad de procesamiento de la Unidad de Vacío, así como de la Unidad de Craqueo Catalítico y también de la Unidad de Destilación Atmosférica; instalaciones industriales que forman parte de la Refinería Talara.

Es así como, en base a datos registrados en planta, resultado de pruebas experimentales, se decide identificar las limitaciones de la Unidad de Destilación al Vacío, para adecuarlas, superarlas; y aprovechar las bondades de la planta citada, con el propósito de favorecer los resultados económicos en el tren de refinación complementario.

La evaluación inicial esta referida a lograr una nueva capacidad de procesamiento de la Unidad de Vacío del orden de 26,0 MBPD, para un Crudo Reducido Atmosférico(CRA) en el rango de 22-24 °API, que constituye las características de la materia prima original y para un régimen de carga de diseño de 19.8 MBPD. Esta experiencia fue posible mejorando la temperatura de ingreso del Crudo Reducido Atmosférico a la Unidad de Vacío y con la reasignación de servicio de intercambiadores de calor existentes para mejorar el precalentamiento de la carga y aprovechando la capacidad térmica del horno a consecuencia del mejor control de las variables operativas del mismo. Esta oportunidad, permitió definir que las dimensiones de la Columna Fraccionadora de Vacío, especialmente los diámetros en la zona superior satisfacen el flujo de vapores para una carga liviana. Adicionalmente se identifico oportunidad de mejora en las válvulas de control de flujo hacia el horno y la de control de flujo de Crudo Reducido de Vacío, así como mejorar la capacidad de la bomba de dicha corriente.

La evaluación en una segunda etapa de la Unidad de Vacío, habiendo superado las limitaciones operacionales identificadas y superando las mismas con inversiones corrientes, consistió en ejecutar pruebas en planta para una carga pesada de 16-18 ° API y un régimen de carga de 27.0- 28.0 MBPD. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios. El perfil térmico del

Crudo Reducido de Vacío, debido a su mayor rendimiento volumétrico y por lo tanto flujo, así como el incremento de viscosidad, permitió mejorar sustancialmente la temperatura de ingreso al horno, derivándose en la posibilidad de incremento de carga, en función de un volumen de gas natural combustible disponible para su uso, sin superar la carga térmica del horno. En esta oportunidad, se verificó que las dimensiones de la torre fraccionadora de vacío para una carga pesada son satisfactorias, especialmente el control de nivel y el tiempo de residencia en el fondo de dicha torre.

Ante la posibilidad de disminuir la temperatura de chimenea del horno desde 840-850 °F a valores de 690-710 °F, cifrando expectativas en al modificación de la zona conveccional del horno, se procedió al desarrollo de un proyecto para reemplazar parcialmente los tubos de superficie extendida tipo stud por un nuevo diseño denominado superficie extendida aleteada, esta acción permitió incrementar la carga calórica del horno desde 80 hasta 86 MM BTU/Hr, resultado que favorece un incremento de carga adicional a la Unidad de Vacío para conseguir valores de 28-30 MBPD. Las pruebas realizadas para cargas livianas y pesadas, cubre los requerimientos del planeamiento de las operaciones de la refinería ante la posibilidad de compra en oportunidad de crudos livianos y pesados. Esta experiencia permite definir que las posibilidades de mejoras con datos experimentales de planta con pequeñas inversiones que reditúen buena ganancias a corto plazo, es un camino adecuado para mejorar los márgenes de ganancia en el negocio de la refinación de crudo y producción de los combustibles.

2. ANTECEDENTES

La Refinería Talara, es la instalación industrial mas importante de la corporación de Petróleos del Perú, PETROPERU S.A y está ubicada aproximadamente a 1184 Km. al norte de la ciudad de Lima. La refinería está integrada por las siguientes unidades: Movimiento de crudos y Agua, Unidad Destilación Atmosférica, Unidad Destilación al Vacío I y II, Craqueo Catalítico Fluido, Recuperación de Gases, Servicios Industriales y Movimiento de Productos, así como las Plantas de Ventas de Talara y Piura.

La Unidad de Destilación al Vacío de la Refinería Talara, es parte integrante del Complejo de Craqueo Catalítico e inició su operación en el año 1975. Tiene una capacidad de diseño de 19.8 MBPD(Miles de Barriles por Día) y procesa una carga constituida por Residual Atmosférico de la Unidad de Destilación Atmosférica, que procesa crudo a un régimen nominal de 62.0 MBPD..

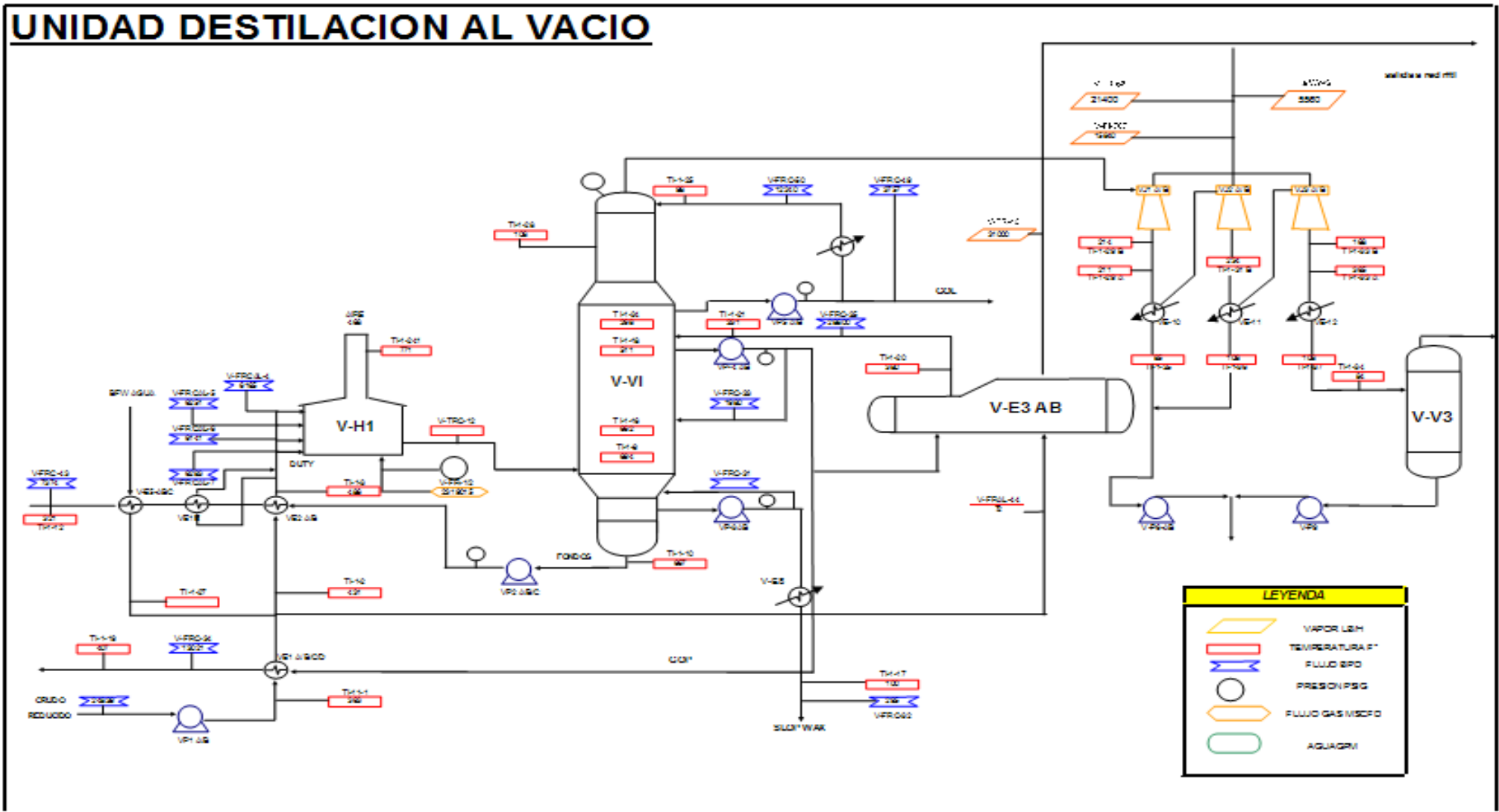
Los principales equipos de la Unidad de Vacío son: Horno, Columna de Destilación, sistema de vacío con eyectores, intercambiadores de calor, calderetas de generación de vapor, enfriadores, electrobombas, bombas accionadas por turbinas a vapor, instrumentación y red de tuberías. En la Gráfica N° 2.1 se ilustra el diagrama de procesos.

La unidad indicada, tienen como objeto la producción de Gasoleos que sirve de carga para la Unidad de Craqueo Catalítico Fluido, cuya capacidad de diseño es de 16.6 MBPD. En la Gráfica N° 2.2 se muestra el diagrama de flujo simplificado.

La carga original procesada es Crudo Reducido Atmosférico(CRA) de 22-23 de gravedad API, que procedía de un crudo de 34° API , 100% extraído en la región del norte del país y produce los cortes siguientes: Gasoleo Ligero (GOL), Gasoleo Pesado(GOP), Slop Wax(SW) y Crudo Reducido de Vacío(CRV). Una descripción simplificada se presenta en la Gráfica N° 2.3.

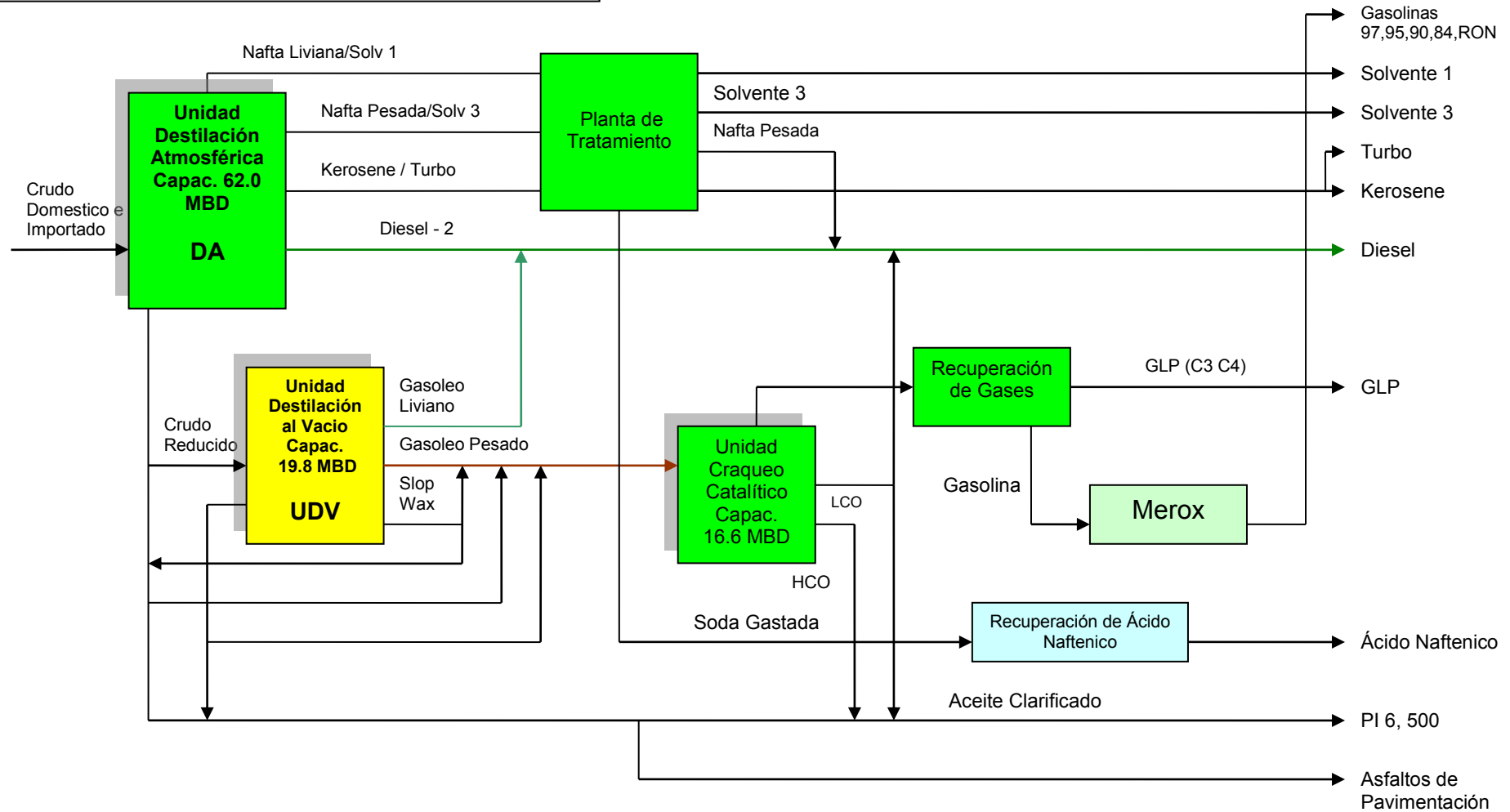
GRÁFICA N° 2.1

UNIDAD DESTILACION AL VACIO

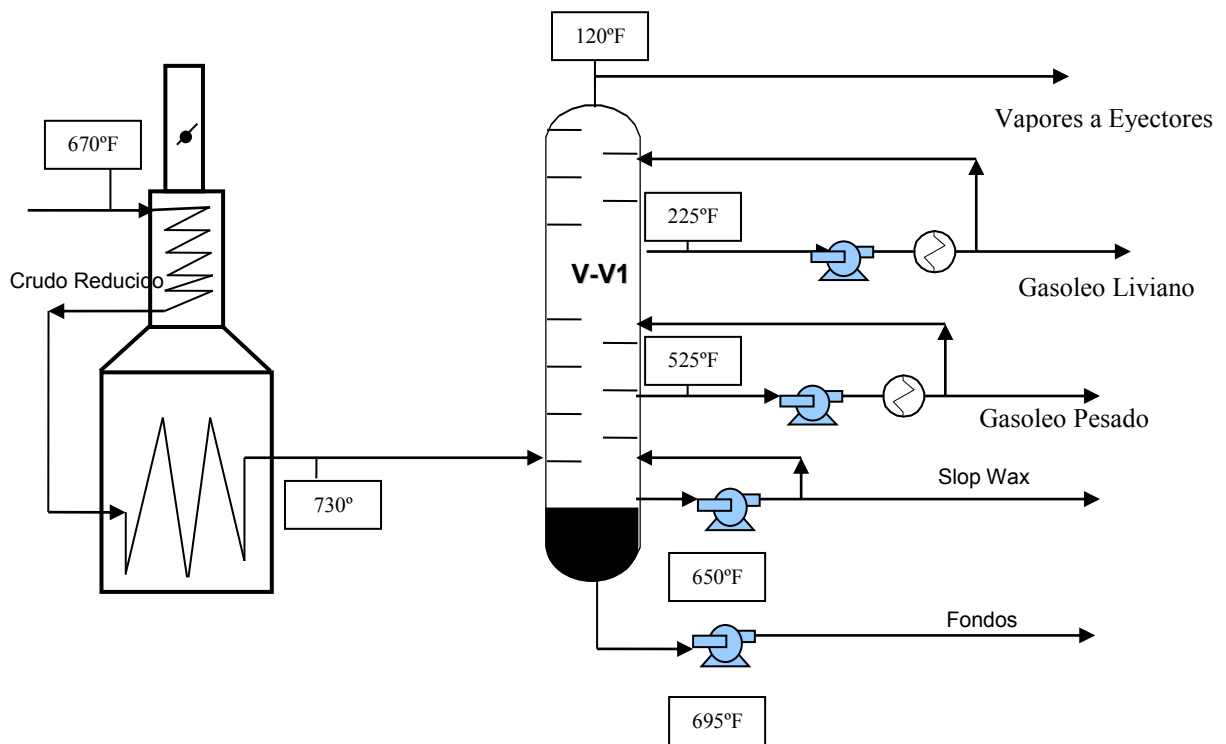


GRÁFICA N° 2.2

**ESQUEMA DE PROCESOS
REFINERÍA TALARA**



GRAFICA N° 2.3



**UNIDAD DE DESTILACIÓN AL VACIO
CARGA Y PRODUCTOS**

3. OBJETIVO

El objetivo consiste en identificar las restricciones mas significativas para procesar cargas provenientes de crudos reducido atmosférico en el rango de 22-24 °API , para un incremento de 32.6 % superiores a la de diseño, es decir 26.0 MBPD; y en este contexto determinar rendimientos volumétricos, calidad de producto, condiciones de operación y principalmente limitaciones de los equipos existentes. En una segunda etapa, realizar las pruebas experimentales en planta, para crudos reducido atmosférico entre 17-19 °API, con el propósito de complementar la identificación de las restricciones para una carga más pesada.

Las identificaciones de mejoras para otorgar la flexibilidad al sistema obligara a planear y ejecutar acciones inmediatas con la Unidad de Vacío sin interrumpir su operación y preparar aquellas modificaciones que requieren que la unidad este fuera de servicio.

Entendiendo que la Unidad de Destilación al Vacío, produce la corriente de Gasóleo Pesado que constituye hasta el 50-60% de su carga y a la vez dicho producto intermedio sirve como alimentación para la Unidad de Craqueo Catalítico Fluido, el incremento en su producción permitirá optimizar el régimen de procesamiento de dicha unidad, con la consiguiente contribución en los resultados económicos por el margen de ganancia inherente al producir productos de valor agregado tales como: Gas Licuado de Petróleo(GLP), Nafta Craqueada, Aceite Cíclico Ligero(ACL), Aceite Cíclico Pesado(ACP) y Aceite Decantado(ACD). Esta sinergia conduce a un esquema mejorado en el tren de refinación, con el consiguiente efecto en la corriente arriba obligando a un incremental de carga en la Unidad de Destilación Atmosférica (UDA), mejorando sustancialmente la rentabilidad de la refinación de petróleo.

4. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE VACÍO Y LOS EQUIPOS EXISTENTES

Horno.-

El horno de la Unidad de Vacío, es del tipo de cabina de 4 pasos; cuyas características principales son:

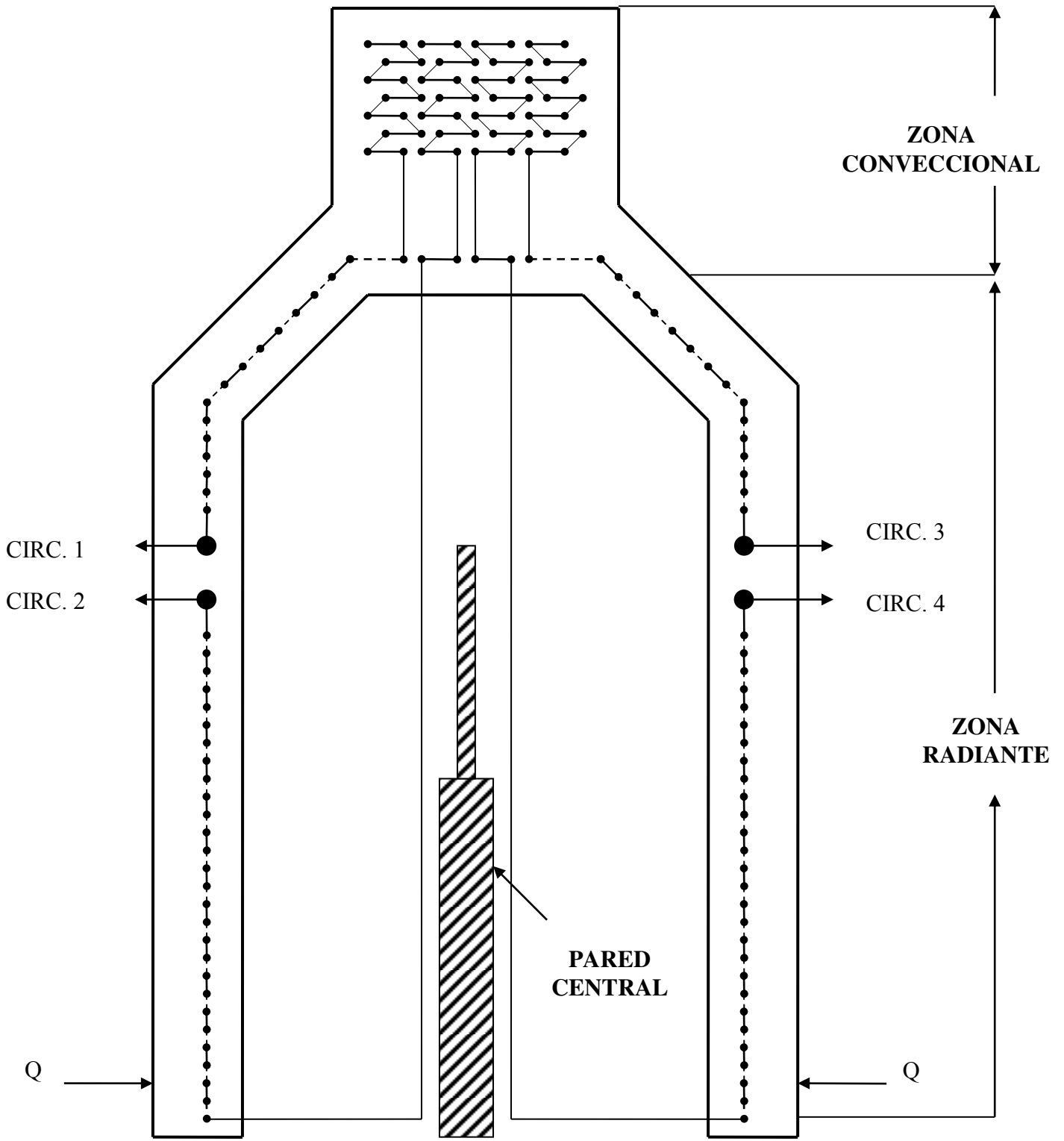

- La ubicación de los quemadores de gas combustible en la parte inferior de las paredes laterales que portan los tubos de la sección radiante.
- La construcción de una pared central de refractario, que divide la cámara radiante en dos secciones.
- Zona convectiva con tres hileras de tubos con superficie extendida tipo stud.
- Cuatro circuitos de carga con inyección de vapor para mantener la velocidad recomendada.
- Veintiocho quemadores, doce a cada lado de la zona radiante.
- En la Gráfica N° 4 se muestra un diagrama simplificado del horno y en la Tabla N° 4.1 se indica las principales especificaciones de diseño de dicho horno [1] y en la Tabla N° 4.2 se ilustra la superficie de transferencia de calor neta aprovechable.

GRÁFICA N° 4

ESQUEMA DE CIRCUITOS DEL HORNO VH-1

ENTRADA DE CIRCUITOS

1 2 4 3



Q: QUEMADORES

TABLA N° 4.1

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DEL HORNO DE LA UDV

1. CONDICIONES DE PROCESO

1.1. CARGA DEL HORNO

- Flujo volumétrico: 19,835 BDP
- Flujo másico: 263,692 Lbs/hr.

1.2. TEMPERATURAS DE OPERACIÓN

- Entrada de la carga: 458°F
- Salida de la carga: 768°F
- Gases de chimenea: 840°F
- Gases en zona radiante: 1540°F

1.3. PRESIONES DE OPERACIÓN

- Entrada de la carga: 63.8 psig.
- Salida de la carga: -11.2 psig (3.5 psia)

2. OPERACIÓN DEL HORNO

2.1. CARGA CALORICA

- Normal: 101.1 MM Btu/hr
- Máximo: 121.2 MM Btu/hr

2.2. CALOR ABSORBIDO O "DUTY"

- Duty total: 75.9 MM Btu/hr
- Distribución:
 - Zona radiante: 71.0%
 - Zona convencional: 29.0%

3. SUPERFICIE DE TRANSF. DE CALOR

3.1. Zona radiante: 5,090 pies²

3.2. Zona convencional:

- Escudo: 960 pies²

- Tubos lisos: 1,440 pies²

- Superficie extendida: 2,880 pies²

3.3. Total: 10,370 pies²

4. CARACTERISTICAS DE LOS TUBOS

4.1. Temperatura de diseño: 1,140°F

4.2. Presión de diseño: 150 psig.

4.3. Material de tubos: 9% Cr - 1% Mo

4.4. Material accesorios Superf. Extend.: Acero al Carbono.

5. CARACTERISTICAS DE QUEMADORES

5.1. Número: 28

5.2. Capacidad normal de c/u: 3'610,00 Btu/hr

5.3. Capacidad máxima de c/u: 4'330,00 Btu/hr

5.4. Exceso de aire: 20.0% máx

TABLA N° 4.2**SUPERFICIE DE TRANSFERENCIA DE CALOR NETA APROVECHABLE DEL HORNO**

	Número de tubos	Longitud total: pulg	Long. Aprovechable. Pulg.	Superficie por tubo: pies²	Superficie total: pies²
A. Zona Radiante					
Tubos de 4.000 pulg. O.D.	28	720	688	60.0	1,680.0
Tubos de 4.500 pulg. O.D.	32	720	688	67.5	2,160.0
Tubos de 5.563 pulg. O.D.	4	720	688	83.5	334.0
Tubos de 6.625 pulg. O.D.	4	720	688	99.4	394.0
Tubos de 8.625 pulg. O.D.	4	720	688	129.5	518.0
Superficie Total	-	-	-	-	5,090.0
B. Zona de Escudo	16	720	688	60.0	960.0
C. Zona de Convección					
Tubos lisos 4.000 pulg. O.D.	24	720	688	60.0	1,440.0
Tubos de superf. Extend. 4.000 pulg. O.D.	24	720	688	111.4	2,674.0
Superficie total	-	-	-	-	4,114.0
D. Superficie Total Aprovechable	-	-	-	-	10,164

Destilación al Vacío para preparar Carga para la Unidad de Craqueo Catalítico (UFCC).-

En la idea de maximizar la producción de Gasoleo Pesado para alimentar como carga a la planta de Craqueo Catalítico, el Crudo Reducido de la Unidad de Destilación Atmosférica es alimentada a la Unidad de Destilación al Vacío; donde el proceso de destilación se realiza a presión reducida, con el objeto de evitar la descomposición térmica a altas temperaturas. Es así como una carga que llega a su punto de ebullición a temperatura de 750° F; a una presión de 50 mm Hg; a presión atmosférica no llegaría a esa condición hasta alcanzar una temperatura de 925° F, a esta temperatura muchos hidrocarburos estarían sujetos a descomposición térmica de su estructura molecular.

En la Tabla N° 4.3 se incluye las principales características de diseño de la Unidad de Vacío [2]

En unidades de preparación de cargas para FCC, no necesariamente se busca el fraccionamiento de los cortes, por lo que se desea vaporizar los Gasoleos, remover los residuos de naturaleza asfáltica y condensar los productos líquidos de la forma más eficiente posible.

Las Unidades de Vacío dedicadas a la destilación de lubricantes, son completamente diferentes en el diseño y en su operación.

TABLA N° 4.3

CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE PROCESOS DE LA UNIDAD DE VACÍO

TIPO DE UNIDAD:

Columna Simple de Destilación al Vacío con extracción de GOL, GOP y Slop Wax .

CARGA A LA UNIDAD:

Condición de Diseño – 19,835 BPD Crudo Reducido HCT

RENDIMIENTOS ESTIMADOS:

	°API	K	BPSD	LBS/HR	VOL.%
Crudo Reducido HCT	22.7	11.76	19,835	263,692	100.0
Gas				880	
GOL	32.0	12.0	3,320	41,922	16.74
GOP	25.8	12.0	13,280	174,310	66.96
Slop Wax	24.0	11.8	600	7,966	3.02
Asfalto	9.8	11.5	2,635	38,614	13.28

***NOTA:**

Base: Carga a la Unidad de Vacío a una temperatura de 300° F.

La Especificación de Procesos solo sirve para propósito de diseño, que puede usarse como guía en la operación.

Vaporización parcial del Crudo Reducido Atmosférico.-

El Crudo Reducido Atmosférico es alimentado al horno de la Unidad de Vacío para su respectivo calentamiento y posterior transferencia a la columna de vacío. La zona flash de esta columna, esta sometida a una presión muy baja, que aproximadamente es de 50 mm Hg(la presión en la zona flash de una columna de destilación atmosférica es mas o menos de 15 a 20 psig).

La temperatura de salida del horno es generalmente utilizada para el control, no obstante la caída de presión en la línea de transferencia hace que la temperatura en ese punto sea no significativa.

Las temperaturas de la zona de transferencia de calor y la zona flash son generalmente variadas para encontrar las especificaciones de asfalto que se quiere producir, el cual está relacionado con las especificaciones de la gravedad API y Penetración.

La penetración del asfalto, se explica como el espesor en 1/100 cm que la aguja penetra en una muestra de 100 gr de muestra, en un medio de temperatura constante a 77° F en un periodo de 5 segundos.

Si la temperatura de la zona flash es muy alta, podría iniciarse la descomposición térmica y por lo tanto producir gases que estarían sobrecargando a los eyectores del sistema de vacío y de esta manera afectaría la presión del sistema, hasta conducirlo a la perdida del vacío, si fuera el caso.

Un incipiente craqueo térmico puede ocurrir sin una perdida de la presión de vacío, la cual es algunas veces detectada con un resultado positivo de la prueba de la mancha (oliensis) en el laboratorio.

Desde que el grado de craqueo térmico depende de la temperatura de la salida del horno y el periodo de tiempo de exposición de los fondos de

vacío; el control de nivel en el fondo de la columna de destilación debería mantenerse al mínimo y su temperatura disminuida recirculando producto del mismo circuito, pero a una menor temperatura.

La temperatura de la zona flash puede variar ampliamente, dependiendo del tipo de crudo, de su origen y las especificaciones del asfalto que se desea obtener, así como de la cantidad de productos de tope y también de la presión de la zona flash que se consiga controlar, pero principalmente de la temperatura de la zona flash, que varía en unidades comerciales desde 600° F hasta 800° F.

Algunas unidades de vacío están dotadas de facilidades para inyectar vapor saturado o sobrecalentado al fondo de la columna para favorecer el despojamiento de productos livianos y al mismo tiempo disminuir la temperatura de la corriente de fondos. Este hecho favorece la obtención de los asfaltos, pero es una desventaja para el sistema de vacío, pues el flujo de vapor sobrecarga la operación de los eyectores y el sistema de condensación.

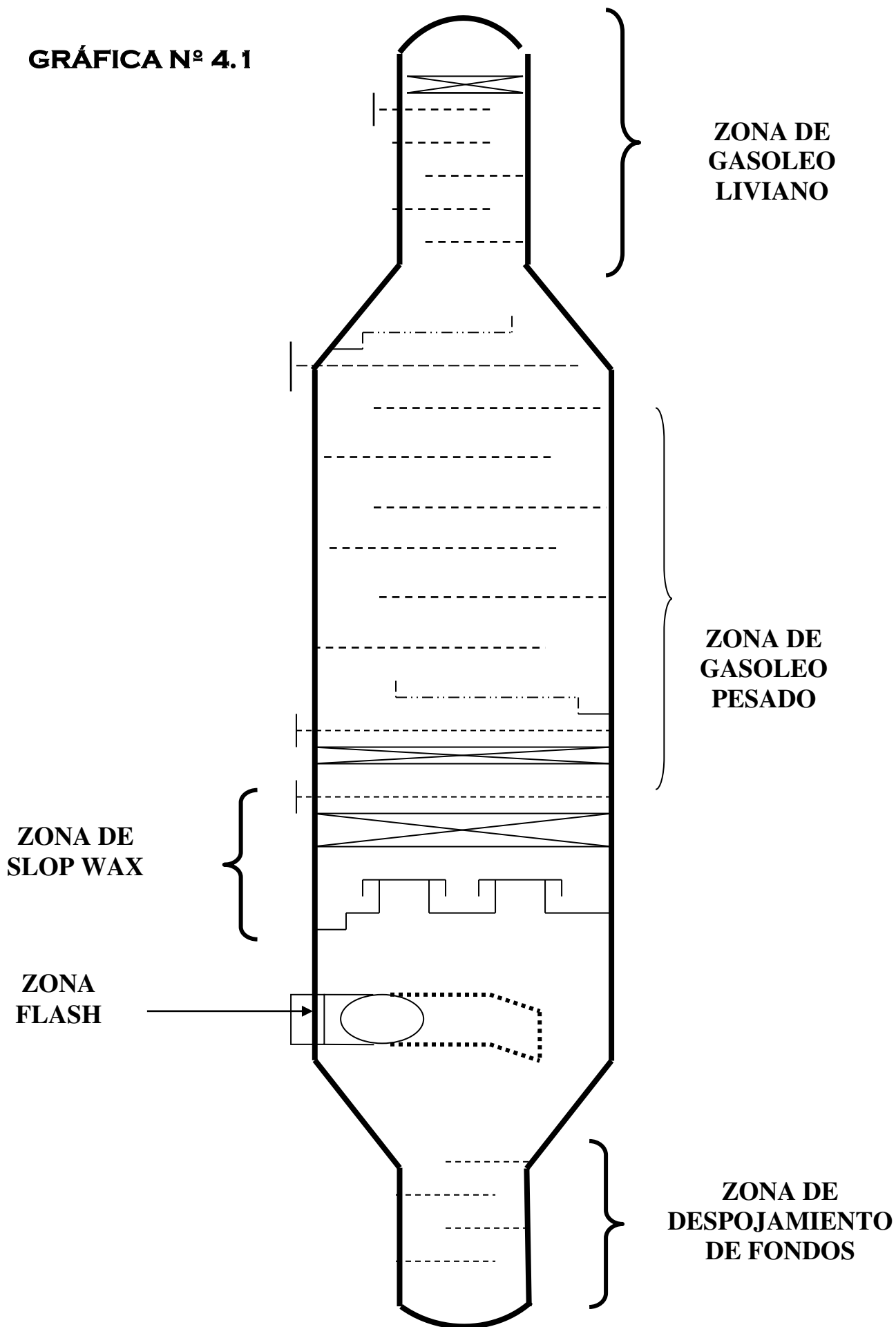
Descripción de los internos de la columna de destilación al vacío.-

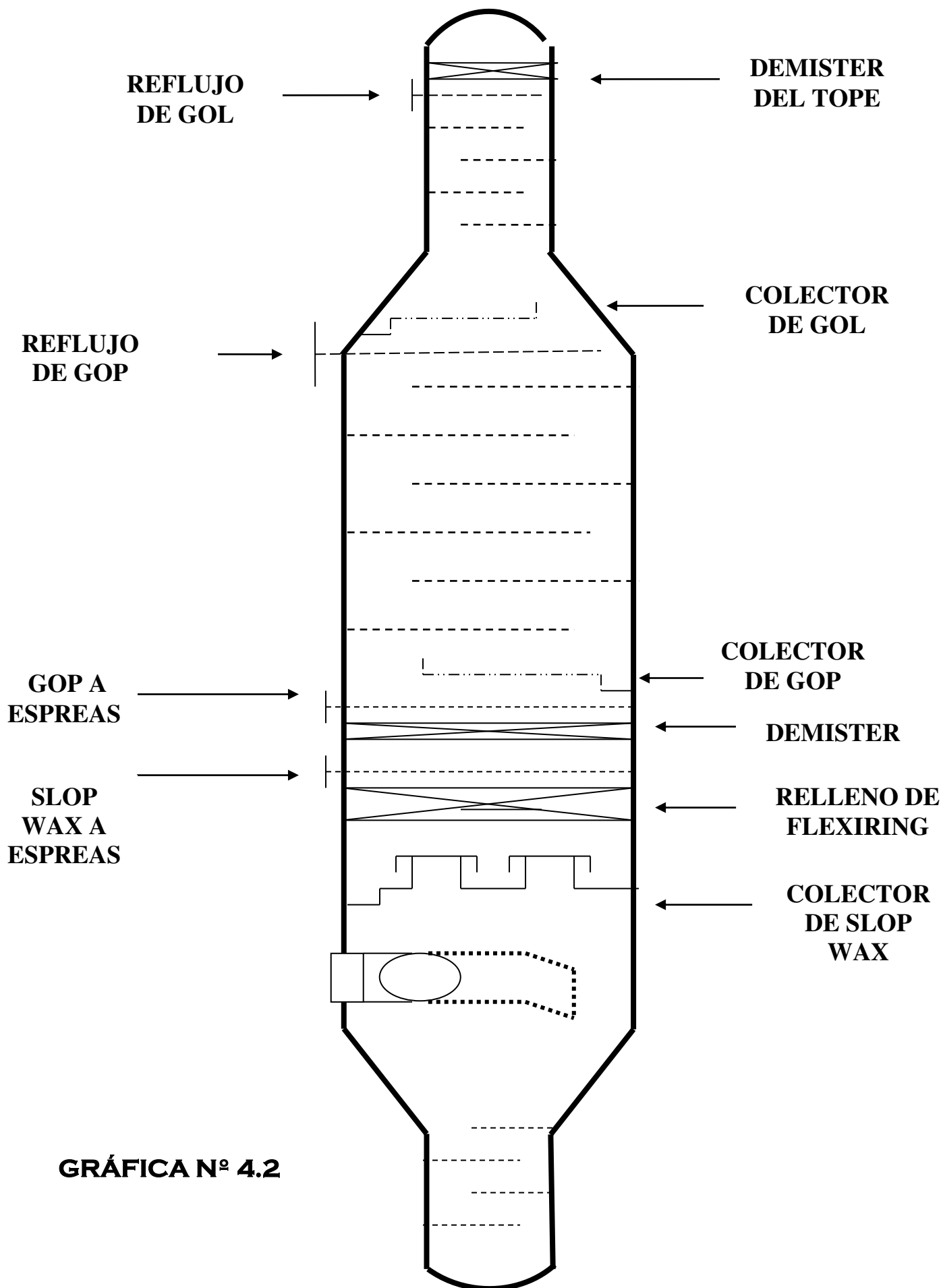
En la Gráfica N° 4.1 se muestra un diagrama esquemático de las seis zonas:

- Zona Flash
- Zona de Despojamiento
- Zona de Slop Wax
- Zona de Gasoleo Pesado
- Zona de Gasoleo Liviano
- Zona de Residuo de Vacío

En la Gráfica N° 4.2 se ilustra los colectores de GOL, GOP y Slop Wax; los reflujos de GOL y GOP; así como las corrientes a las espreas. Se muestra también los demister y el relleno de empaque desordenado.

GRÁFICA N° 4.1





GRÁFICA N° 4.2

A continuación describiremos brevemente la función de cada zona:

Zona Flash.-

La carga ingresa en esta zona, con la ayuda de un distribuidor de tipo caja o un canal tangencial circunferencial. El objetivo es elevar y favorecer la separación líquido vapor por disipación de algo de energía de la corriente de alimentación, que frecuentemente ingresa a la velocidad sónica. El vapor que asciende en la zona flash, podría arrastrar los componentes asfálticos, los cuales no son tolerados como parte del Gasoleo que constituye la carga de FCC

La zona flash tiene una altura mínima de 20 pies(6.1 mts) y preferentemente constituye la distancia entre el plato de Slop Wax y el dispositivo de ingreso de la carga, lo que minimiza el arrastre de líquido.

Zona de Slop Wax.-

Esta zona es instalada para remover aproximadamente de 5 a 10% en volumen del total de gas oil destilado. La experiencia muestra que las fracciones de alto punto de ebullición del gasoleo de vacío contienen mas metales y asfaltenos que la fracción de menos punto de ebullición. La evacuación de Slop Wax(SW) permite en alguna medida un control de los arrastres de metales y al mismo tiempo facilita el lavado de compuestos pesados que ascienden hasta esta sección. Un aspecto importante constituye el color característico del Gasoleo Pesado, lo cual es un indicativo de la efectividad del control del arrastre de componentes asfálticos.

El Slop Wax es usualmente bombeado a la zona de relleno desordenado e inyectado en la parte inmediatamente superior a la boquilla de extracción neta del citado corte. El Slop Wax puede reciclarse a la corriente de ingreso

al horno de vacío y mezclarse con el combustible que se extrae en el fondo de la columna.

En la zona superior de la zona de Slop Wax, existe otra sección de empacado; la que es lavado por el reflujo caliente de Gasoleo Pesado, la que permite el retiro de calor necesario para la condensación del corte de Slop Wax.

Los nuevos diseños, consideran generalmente 2 a 3 pies(600-900 mm) de empacado o malla demister para cada servicio. El uso de empacado, facilita disminuir la perdida de presión en esta zona.

Zona de Gasoleo Pesado.-

Esta sección es considerada como la instalación mas importante para la remoción de calor. Los vapores que superan al malla metálica de acero inoxidable constituyen el producto y no será necesaria un fraccionamiento posterior, por lo tanto es deseable que la condensación de los vapores sea lo mas eficiente posible. El método mas recomendado es el contacto entre los vapores calientes y la corriente líquida que son enfriados externamente en los intercambiadores de calor.

En esta zona, se produce la mayor condensación de Gasoleo Pesado(GOP), al circular previamente por intercambiadores de calor y enfriadores, previamente a su retorno como reflujo parcial al tope de la zona empacada. La evacuación del Gasoleo Pesado, constituye el 70 a 75% del volumen total de Gasoleos.

La instalación de empacado en está sección de la torre, consiste de 5-6 pies(1500-1800 mm) de altura de malla y/o anillos y platos perforados de lado a lado.

Zona de Gasoleo Liviano.-

La sección de Gasoleo Liviano es la etapa final de condensación. Es así como el Gasoleo Liviano es condensado y separado de los incondensables (aire, vapor y gases de productos craqueados) que ascienden hacia los eyectores. El Gasoleo Liviano extraído es equivalente al 20-25 % en volumen del total. El Gasoleo Liviano normalmente es enfriado y luego recirculado hacia el tope de la columna de vacío.

Desde que los vapores que ascienden hasta esta zona son menores que las del Gasoleo Pesado, el diámetro de la columna es considerablemente menor. El acumulador de Gasoleo Liviano, es instalado en la sección de cambio de diámetro.

Los dispositivos internos usados son la malla metálica o los anillos, instalados en una altura de 5-7 pies(1500-2100 mm).

Zona de Residuo de Vacío.-

Esta es conocida como la sección de fondos y usualmente es la que tiene el diámetro mas pequeño de la columna de vacío y generalmente no tiene dispositivos internos, excepto en los casos que se produce asfaltos. En este caso, se requiere de platos perforados y es dotado con un sistema de inyección de vapor(4-6 lbs/barril) de agua en el fondo.

Desde que el tiempo de residencia y la temperatura son factores que promueven el craqueo térmico, se debe intentar que el tiempo de permanencia en el fondo de la torre sea bajo (un minuto) y así evitar la formación de coque.

Una fracción del residuo es enfriado externamente y luego retornado para el control de la temperatura, esta corriente es de nominada quench.

Sistema de Vacío.-

Para conseguir la presión de vacío se usan eyectores cuyo elemento motriz es el vapor de agua. La instalación esta constituida por tres etapas de eyectores, y cada una por dos conjuntos de eyectores en cada etapa.

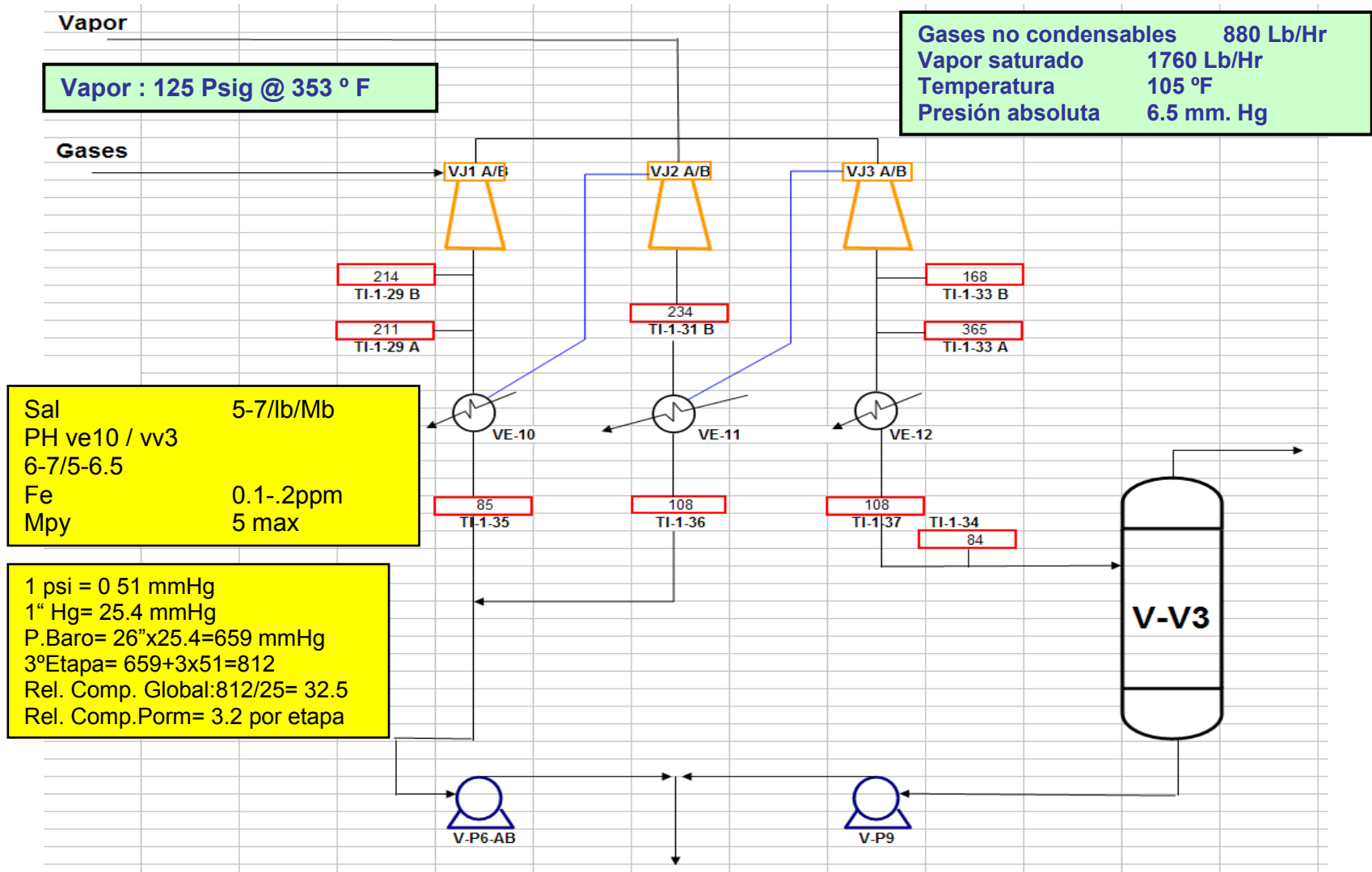
En el eyector, la energía del vapor es transferida directamente a la mezcla de vapores y gases que ascienden al tope de la columna de destilación al vacío. El vapor inyectado es impulsado a una gran velocidad, usando una tobera especialmente diseñado para tal fin, situación que permite succionar los gases del cabezal de tope y conjuntamente son evacuados por el difusor hacia la descarga de la primera etapa.

La presión en el cabezal de la primera etapa es mayor que la presión en la succión del cabezal principal del tope. En esta etapa los intercondensadores condensan el vapor de agua y los incondensables pasan a la segunda etapa y tercera etapa sucesivamente. Como una simple etapa no tiene la capacidad para arrastrar los gases hasta desfogarlos a la atmósfera es indispensable disponer de tres etapas.

El condensado colectado es retirado utilizando bombas de vacío y eyectores para disponerlos en otro servicio o disposición final.

En relación a los eyectores, las secciones convergente y divergente, funcionan de forma similar a un compresor de dos etapas. La velocidad sónica alcanzada en la zona de la garganta, genera una onda de presión que favorece un incremento de presión de 3 a 4 veces. En la zona divergente, la energía cinética del fluido es convertida a energía de presión que posibilita en aumento de la presión de 2 a 3 veces. La suma de los componentes sónico y de velocidad es denominado como relación de compresión. Los valores comunes de relación de compresión son 3:1 a 4:1. En la Gráfica N° 4.3 se presenta el diagrama simplificado del sistema de vacío.

GRAFICA N° 4.3



5. DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS EN PLANTA

Las pruebas en planta, sin interrumpir el procesamiento normal de las operaciones, teniendo como referencia los planes de producción establecidos para satisfacción de la demanda; se realizó con el objeto de identificar la máxima capacidad para el procesamiento de Residual Atmosférico de la Unidad de Destilación Primaria en la Unidad de Destilación al Vacío. Esta experiencia se realizó en dos etapas:

Etapas I: Crudo de 34-35° API y un Residual Atmosférico de 22 a 24° API, proveniente de la Unidad de Destilación Atmosférica.

Se incluyeron las siguientes etapas:

- Máxima inclusión de Residual Primaria directamente de la Unidad de Destilación Atmosférica.
- Producción de Asfaltos para pavimentos.
- Producción máxima de Gasoleo Pesado para uso en la Unidad de Craqueo Catalítico.

Etapas II: Crudo de 29-30° API y un Residual Atmosférico de 16-18° API, proveniente de la Unidad de Destilación Atmosférica.

En esta etapa solo se evaluó el máximo rendimiento de Gasoleo Pesado para uso en la Unidad de FCC.

6. PROCESAMIENTO DE CARGA LIVIANA

Residual Atmosférico de 22° a 24° API.

6.1. CARGA PROCESADA Y RENDIMIENTOS DE PRODUCTOS

En la Tabla siguiente se presentan los rendimientos obtenidos para las cargas respectivas para cada etapa.

CARGAS PROCESADAS Y RENDIMIENTOS

ETAPA	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
CARGA, BPD	26,578	25,018	26,024
Gases	0.3	1.4	2.2
Gasoleo Liviano	16.0	15.5	9.8
Gasoleo Pesado	62.8	62.9	64.8
Slop Wax	3.5	3.4	4.7
Crudo Reducido	17.4	16.8	18.5

De manera general, se observa que los rendimientos volumétricos de los productos, presentan pequeña variación, exceptuando al Gasoleo Liviano, cuyo rendimiento superior se explica por la maximización realizada y evaluar sus propiedades a fin visualizar su inclusión como destilado medio en el inventario de Diesel.

6.2. CALIDAD DE PRODUCTOS

En las Tabla N° 6.2.1 a la Tabla N° 6.2.3, se presentan los resultados de los análisis del Laboratorio.

Los comentarios son los siguientes:

Gasoleo Liviano de Vacío.-

Se encontró que este producto cumple con el recobrado de su destilación; es menor al máximo permitido 90% a 360 ° C, así como su Punto Final de Ebullición: Menor a 370 ° C. El color es de 1. La propiedad de viscosidad no cumple con la especificación SSF a 100 ° F.

Gasoleo Pesado de Vacío.-

Este producto intermedio satisface el rango de destilación exigido en la Unidad de Craqueo Catalítico, así como el contenido de metales contaminantes (Níquel y Vanadio) y el contenido de Carbón Coradson.

Residual de Vacío.-

Los resultados de los ensayos del Laboratorio realizadas, para la Etapa II ; indican que satisfacen las especificaciones de Asfalto 60-70 de Penetración.

TABLA N° 6.2.1

CALIDAD DE PRODUCTOS

ETAPA N° 1: EVALUACION A MAXIMA CAPACIDAD

ANALISIS	CARGA UDP	CARGA UDV	GASOLEO LIVIANO	GASOLEO PESADO	SLOP WAX	FONDOS
Gravedad API	35.3	22.4	30.8	24.5	16.3	10
Visc. SSU a 100°F	41.4		50			
Visc. SSU a 210°F				58		
Visc. SSF a 122°F		42			2.025	39.000
Color Robinson			17 ½			
Penetración a 77°F						111
Punto Ablandamiento, °F						110
Destilación ASTM						
P.I.E.			410			
50%			568			
90%			662			
P.F.E.			702			
Rec. A 675°F			93.0			

TABLA N° 6.2.2

CALIDAD DE PRODUCTOS

ETAPA N° 2: PRODUCCION DE ASFALTO 60-70

ANALISIS	CARGA UDP	CARGA UDV	GASOLEO LIVIANO	GASOLEO PESADO	SLOP WAX	ASFALTO 60-70
Gravedad API	35.4	22.4	30.6	23.9	12.2	7.4
Pto. Inflamación, °F			195			
Visc. SSU a 100°F			49			
Visc. SSU a 210°F				59	37.500	
Visc. SSF a 122°F		45				
Color Robinson			17 ½			
Penetración a 77°F						114
Punto de Ablandamiento, °F						71
Oliensis						Aceptable
Destilación ASTM						
P.I.E.			440			
50%			602			
90%			679			
P.F.E.			720			
Rec. A 675°F			89.0			

TABLA N° 6.2.3

CALIDAD DE PRODUCTOS

CONDICIONES PROMEDIO

ANALISIS	CARGA UDP	CARGA UDV	GASOLEO LIVIANO	GASOLEO PESADO	SLOP WAX	FONDOS
Gravedad API	35.3	22.6	31.7	24.7		11.4
Pto. Inflamación, °F			208			
Visc. SSU a 100°F	43.5		46			
Visc. SSU a 210°F				53		
Visc. SSf a 122°F		2.5				
Color Robinson			17 ½			
Penetración a 77°F						
Pto. Ablandamiento. °F						
Destilación ASTM						
P.I.E.			420			
50%			580			
90%			650			
P.F.E.			695			
Rec. A 675°F			94.0			

6.3. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Al respecto, por su importancia debemos destacar que el perfil de temperaturas en el horno y la columna de destilación al vacío son las siguientes:

PERFIL DE TEMPERATURAS Y PRESIONES

PARÁMETROS	TEMPERATURAS			PRESIONES		
	° F			mmHG		
	Etapa I	Etapa II	Etapa III	Etapa I	Etapa II	Etapa III
Entrada al Horno	487	495	487			
Salida del Horno	745	754	748			
Zona Flash	725	732	728	130	130	130
Zona Tope	92	95	92	4.0	4.0	8.5
Plato de GOL	245	244	235			
Plato de GOP	525	531	525			
Plato de Slop Wax	705	714	702			
Zona Fondos	687	687	685			

Las Válvulas de Control de Flujo identificados para cada servicio y sus respectivas aperturas en función de la máxima carga experimentada y las observaciones respectivas son mostradas en la Tabla N° 6.3.1

Las características de diseño de las bombas de la Unidad de Vacío accionadas por motor eléctrico y turbinas a vapor para el servicio correspondiente son reportadas en: Tabla N° 6.3.2

Las condiciones de operación de las bombas a la máxima carga experimentada se muestran en la Tabla N° 6.3.3

TABLA N° 6.3.1

VALVULAS DE CONTROL

N°	SERVICIO	TAMAÑO	ETAPA N° 1	OBSERVACIONES
V-FRCAL-4	Carga aL Horno	2"Ø x 1 ½	80	Requiere uso de válvulas 3" x 2".
V-FRCAL-5	Carga aL Horno	2"Ø x 1 ½	88	
V-FRCAL-6	Carga aL Horno	2"Ø x 1 ½	90	
V-FRCAL-7	Carga aL Horno	2"Ø x 1 ½	93	
V-FRC – 31	Slop Wax a Espreas	1 ½" Ø	(1)	Todo abierta
V-FRC – 32	Slop wax a VE-8	1" Ø x ½	62	
V-FRC – 33	GOP a Espreas	2" Ø	(1)	Doble
V-FRC – 34	GOP a la UCCF	4" Ø	100	Requiere uso de válvula al 6".
V-FRC – 35	Reflujo de GOP	6" Ø	80	
V-FRC – 43	Fondo de VE-5	1 ½" Ø x 0.5	100	Requiere uso de válvula de 3"
V-FRC – 49	GOL a la UCCF	1 ½" Ø, full double	69	
V-FRC – 50	Reflujo GOL	4" Ø, full double	75	

TABLA N° 6.3.2**CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE BOMBAS**

BOMBA	SERVICIO	CAPAC. G.P.M.	SUCCIÓN	DESCARGA PSI	POT. MOTOR	AMPER MAXIMO	EFIC. BOMBA	EFIC. MOTOR	BPH BOMBA
VP1-A	Crudo Reducido	740	15.0	215	160	39.0	0.662	0.944	140.0
VP1B-T	Crudo Reducido	740	15.0	215	160	3550 RPM	0.657	0.944	130.0
VP2-A	Fondos	115	25.1"	220	50	58.0	0.375		39.3
VP2-B-T	Fondos	115	25.1"	220	46.5	3550 RPM	0.371		39.6
VP3-A	Slop Wax	155	3.16	120	25.0	30.0	0.550	0.905	20.3
VP3-B	Slop Wax	155	3.16	120	25.0	30.0	0.558	0.895	19.7
VP4-A	GOP	2,175		75	140.0	161.0	0.816	0.852	119.5
VP4-B	GOP	2,175		75	140.0	161.0	0.814	0.852	119.7
VP5-A	GOL	580		60	35	40.0	0.716	0.910	29.4
VP5-B	GOL	580		60	35	40.0	0.710	0.910	29.3
VP10-A	Crudo Reducido	350		40	20	23.5	0.693	0.817	12.5
VP10-B	Crudo Reducido	350		40	20	23.5	0.684	0.827	12.7

TABLA 6.3.3**CONDICIONES DE OPERACIÓN DE BOMBAS A MAXIMA CARGA**

BOMBA	CAPACIDAD G.P.M.	PRESION DESCARGA	AMPER. (R.P.M.)	EFIC. BOMBA %	EFIC. MOTOR %	BPH BOMBA	POTENCIA MOTOR	TEMPERAT. °F Del Fluido
VP1-A	870	250	37.0	65.7	94.5	143.0	151.0	345
VP1-B-T	-	-	-	-	-	-	-	-
VP2-A	160	215	54.5	44.7	93.2	46.5	50.0	690
VP2-B-T	7	175	(3400)	11.0	Turbina	34.5	-	690
VP3-A	-	-	-	-	-	-	-	-
VP3-B	105.0	150	23.0	60.0	88.7	17.0	19.2	705
VP4-A	-	-	-	-	-	-	-	-
VP4-B	2,135	65	160.0	80.7	85.0	125.0	147.4	525
VP5-A	280	92	32.0	48.7	90.1	23.2	26.0	245
VP5-B	280	95	30.0	47.6	90.1	24.5	27.0	245
VP10-A	36	65	17.0	11.5	74.5	9.3	12.5	140
VP10-B	36	60	17.0	11.5	77.0	9.3	12.6	140

7. EVALUACION DE PERFORMANCE DE LOS EQUIPOS.

7.1. CONDICIONES DE DISEÑO DE LA UNIDAD DE VACÍO

De la Tabla N° 7.1.1 a la N° 7.1.3 se presenta el balance de materia y energía base [3], desarrollada para un crudo reducido atmosférico de 22.7° API en el cual se puede notar una carga de 19.3 MBPD con los rendimientos siguientes:

▪ GOL	17%
▪ GOP	68.7%
▪ Slop Wax	3.1%
▪ Fondos	13.6%

Las condiciones de temperatura registradas son las siguientes:

▪ Crudo reducido al primer intercambiador	300 ^a F
▪ Crudo reducido precalentado	458 ^a F
▪ Temperatura salida del horno	750 ^a F
▪ Fondos a intercambiadores	725° F

El perfil de temperaturas de la torre es la que sigue:

▪ Temperatura de tope	105° F
▪ Temperatura del plato de GOL	225 ^a F
▪ Temperatura del plato de GOP	525° F
▪ Temperatura del plato de Slop Wax	650° F
▪ Temperatura de fondos	725° F

TABLA N° 7.1.1
BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA DE DISEÑO

CORRIENTE	°API (Lb/Gal)	K	PM	Sp. Gr. (Lb/CF)	° F	PSIG (mm HG ABS)	BPSD @ 60°F (10 ⁶ SCF/D)	FLUJO GPM (CFS)	FLUJO MOL/Hr	Lb/Hr	BTU/Lb	10 ⁶ BTU/Hr
Crudo Reducido a l Intercambiador de GOP	22.7	11.76	-	0.820	300	-	19,335	643	-	236,692	114	30.1
Duty de Interc. Crudo Reducido vs GOP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.1
Crudo Reducido al Interc. Fondos de Vacio	22.7	11.76	-	0.775	420	-	19,835	680	-	263,692	187	49.2
Duty del Interc. De Fondos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.7
Crudo Reducido al Horno	22.7	11.76	-	0.740	458	-	19,835	713	-	263,692	208	54.9
Duty del Horno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72.5
Material a la Zona Flah	-	-	-	-	750	(50)	-	-	-	263,692	484	127.5
Gases	-	-	30.0	-	750	(50)	-	-	29.3	880	575	0.5
GOL	32.0	12.0	374.0	-	750	(50)	3,320	-	112.1	41,922	508	21.3
GOP	25.8	12.0	446.0	(0.0305)	750	(50)	13,280	(2050)	398.8	174,310	496	86.5
SLOP WAX	24.0	11.8	460.0	-	750	(50)	600	-	17.3	7,966	493	3.9
Fondos	9.8	11.5	-	0.740	750	(50)	2,635	104	-	33,614	397	15.3
Fondos a Intercambiador	9.8	11.5	-	0.755	725	-	2,635	102	-	38,614	375	14.5
Duty del Intercambiador de Fondos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.7
Fondos a Intercambiador con BFW	9.8	11.5	-	0.835	500	-	-	93	-	38,614	227	8.8
Duty del Intercambiador de BFW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.9
Fondos al Enfriador	9.8	11.5	-	0.944	270	-	2,635	82	-	38,614	100	3.9
Duty del Enfriador	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9
Fondos a almacenamiento	9.8	11.5	-	0.955	200	60	2,635	81	-	38,614	52	2.0
Slop Wax Total	24.0	11.8	460.0	0.675	650	-	3,100	124	89.4	41,156	330	13.6
Slop Wax a Espreas	24.0	11.8	460.0	0.675	650	-	2,500	100	72.1	33,190	330	11.0
Slop Wax a l Enfriador	24.0	11.8	460.0	0.675	650	-	600	24	17.3	7,966	330	2.6
Duty al Enfriador Atmosférico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1
GOP de Retorno a la Columna	24.0	11.8	460.0	0.960	200	60	600	19	17.3	7,966	63	0.5

TABLA N° 7.1.2
BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA DE DISEÑO

CORRIENTE	°API (Lb/Gal)	K UOP	PM	Sp. Gr. (Lb/CF)	°F	PSIG. (mm Hg ABS)	BPSD @60°F (10 ⁶ SCF/D)	FLUJO GPM (CFS)	FLUJO MOL/Hr	Lb/Hr	BTU/Lb	10 ⁶ BTU/Hr
GOP a la Bomba (Total)	25.8	12.0	446.0	0.725	525	-	66,285	2,396	-	869,969	252	219.2
GOP a Espreas	25.8	12.0	446.0	0.725	525	-	6,865	26	-	90,109	252	22.7
GOP a Intercambiador de Crude Reducido	25.8	12.0	446.0	0.725	525	-	13,280	480	390.8	174,310	252	43.9
Duty del Intercambiador Crudo Reducido vs GOP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.1
GOP a la Unidad de FCC	25.8	12.0	446.0	0.780	350	-	13,280	447	390.8	174,310	142	24.8
GOP al Generador de Vapor	25.8	12.0	446.0	0.725	525	-	46,140	1,670	-	605,550	252	152.6
Duty del Generador de Vapor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43.6
GOP desde el Gnerador de Vapor	25.8	12.0	446.0	0.745	410	-	46,140	1,625	-	605,550	180	109.0
GOP al Enfriador de Aire	25.8	12.0	446.0	0.745	410	-	5,520	195	-	72,460	180	13.0
Duty del Enfriador de Aire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.6
GOP al Enfriador con Agua	25.8	12.0	446.0	0.798	300	-	5,520	181	-	72,460	116	8.4
Duty del Enfriador con Agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.4
GOP desde el Enfriador con Agua	25.8	12.0	446.0	0.860	150	-	5,520	168	-	72,460	42	3.0
Sobrepaso del Enfriador de GO P	25.8	12.0	446.0	0.745	410	-	40,620	1,430	-	533,090	180	96.0
TOTAL GOP Retorno a la Columna	25.8	12.0	446.0	0.755	380	-	46,140	1,604	-	605,550	163	99.0
GOL a al Bomba (TOTAL)	32.0	12.0	374.0	0.799	225	-	15,326	485	-	193,532	80	15.5
GOL al Enfriador con Agua	32.0	12.0	374.0	0.799	225	-	12,006	380	-	151,610	80	12.1
Duty del Enfriador de GOL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.4
GOL a la Columna	32.0	12.0	374.0	0.850	100	-	12,006	356	-	151,610	18	2.7
GOL a la Unidad FCC	32.0	12.0	374.0	0.799	225	-	3,320	105	112.1	41,922	80	3.4
GOL y GOP a la Unidad FCC (TOTAL)	27.0	12.0	430.0	0.792	320	-	16,600	546	502.9	216,232	130	28.2

TABLA N° 7.1.3

BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA DE DISEÑO

STREAM	°API (Lb/Gal)	K U O P	PM	Sp. Gr. (Lb/CF)	°F	PSIG. (mm HG ABS)	BPSD @60°F (10 ⁶ SCF/D)	FLUJO GPM (CFS)	FLUJO MOL/Hr	Lb/Hr	BTU/Lb	10 ⁶ BTU/Hr
Vapor												
Vapor al Horno	-	-	18.0	(0.311)	353	125	-	(1.0)	61.1	1,100	1164	1.3
Vapor al fondo de la Columna	-	-	18.0	(0.311)	353	125	-	(0.6)	36.7	660	1164	0.8
Eyectores												
VAPOR a Eyectores	-	-	20.8	(0.00067)	105	(10)	-	(1094)	127.1	2,640	757	2.0
Vapor	-	-	18.0	-	105	(10)	-	-	97.8	1,760	1079	1.9
GAS	-	-	30.0	-	105	(10)	-	-	29.3	880	170	0.1
GOP al Generador de Vapor												
Condensado al Intercambiador BFW	-	-	18.0	0.957	220	-	3,307	101	2686.7	48,260	160	7.7
Duty del Intercambiador (vs Fondos de la Columna)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.9
Condensado al Generador de Vapor	-	-	18.0	0.906	321	-	3,307	106	2686.7	48,260	261	12.6
Duty del Generador de Vapor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43.6
Vapor al sistema de Utilidades	-	-	18.0	(0.332)	358	135	(24.4)	(40)	2686.7	48,260	1165	56.2

7.2. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

En la Tabla N° 7.2.1 y la Tabla N° 7.2.2 se presenta el Balance de Materia de la Unidad de Vacío, que pertenece a la Etapa I “Máxima Inclusión de Residual Primaria de la Unidad de Destilación Primaria”, en la cual se registró una carga de 26.5 MBPD, que representa un incremento del 33% superior a la capacidad nominal de diseño.

El rendimiento de Gasoleo Pesado para uso en la Unidad de Craqueo Catalítico Fluido es equivalente al 63% de la carga procesada, es decir 16.7 MBPD, un adicional por incremento de carga; de 4.3 MBPD con respecto a la capacidad de diseño original.

El rendimiento de Gasoleo Liviano para su inclusión en el inventario de Diesel es de 16.0 % de la carga procesada, es decir 4.2 MBPD, un incremento de 1.1 MBPD favorecido por una mayor carga.

En la Tabla N° 7.2.1 y la Tabla N° 7.2.2 se ilustra el Balance de Energía de la Unidad de Vacío, que refleja la experiencia de la Etapa I. En ella se muestra un precalentamiento de la carga desde 345 ° F hasta 487 ° F, que es al temperatura con la que ingresa al horno y la salida de este equipo registra 745 ° F; situación que permite estimar que la Carga Calórica del Horno correspondiente es de 88.0 MMBTU/Hr .

El balance térmico en la columna de destilación nos muestra un nivel de energía calórica disponible total de 178.9 MMBTU/Hr, suma del aporte de cada una de los cortes laterales.

TABLA N° 7.2.1
BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DURANTE EVALUACIÓN

CORRIENTE	°API (Lb/Gal)	K UOP	P.M.	Lb/BI	° F	PSIG (mm Hg ABS)	BPSD @ 60°F (10 ⁶ SCF/D)	FLUJO GPM (CFS)	FLUJO MOL/Hr	Lb/Hr	BTU/Lb	BTU/Hr 10 ⁶
Crudo Reducido al V-E1	22.5	12.0	-	321.93	345	-	26,578	-	-	355,852	170	60.49
Duty del V-E1 (Crudo Reduc. HCT vs. GOP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.07
Crudo Reducido al V-E2	22.5	12.0	-	321.93	445	-	26,578	-	-	355,852	232.0	82.56
Duty del V-E2 (Crudo Reduc. HCT vs. Fondos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.25
Crudo Reducido al Horno	22.5	12.0	-	321.93	487	-	26,578	-	-	355,852	258	91.81
Duty del Horno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88.0
Material entrando a Zona Flash	-	-	-	-	745	-	-	-	-	355,852	505.3	179.81
Gases	-	-	-	-	745	-	-	-	-	1,561	625.0	0.98
GOL	31.0	11.7	-	305.10	745	-	4,240	-	-	53,901	538.0	29.00
GOP	24.5	12.0	-	317.80	745	-	16,695	-	-	221,070	524.0	115.84
SLOP WAX	16.0	11.8	-	336.12	745	-	928	-	-	12,997	518.0	6.73
Fondos	10.0	11.5	-	350.37	745	-	4,637	-	-	66,323	411.0	27.26
Fondos al V-E2 A/B	10.0	11.5	-	350.37	687	-	4,637	-	-	66,323	370	24.54
Duty del V-E2 (Crudo Reduc. – Fondos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.03
Fondos al V-E5	10.0	11.5	-	350.37	505	-	4,637	-	-	66,323	249.0	16.51
Duty del V-E5 A/B/C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F/S
Fondos a Tanques	10.0	11.5	-	350.37	505	-	4,637	-	-	66,323	249.0	16.51
Slop-Wax a Bomba V-P3 A/B	16.0	11.8	-	336.12	705	-	2,817	-	-	39,452	401.0	15.82
Slop-Wax a Espreas	16.0	11.8	-	336.12	705	-	1,889	-	-	26,455	401.0	10.61
Slop-Wax al enf. V-E8	16.0	11.8	-	336.12	705	-	928	-	-	12,997	401.0	5.21
Duty del V-E8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.46
Slop-Wax a Tanques	16.0	11.8	-	336.12	300	-	300	-	-	12,997	135.0	1.75
GOP a bomba V-P4 A/B	24.5	12.0	-	317.8	525	-	62,010	-	-	821,116	288.0	236.48
GOP a Espreas	24.5	12.0	-	317.8	525	-	5,830	-	-	77,199	288	22.23

TABLA N° 7.2.2

BALANCE DE MASA Y ENERGÍA DURANTE EVALUACIÓN

CORRIENTE	°API (Lb/Gal)	K UOP	P.M.	Lb/BL	°F	PSIG. (mm Hg ABS)	BPSD @60°F (10 ⁶ SCF/D)	FLUJO GPM (CFS)	FLUJO MOL/Hr	Lb/Hr	BTU/Lb	10 ⁶ BTU/Hr
GOP al V-E-1	24.5	12.0	-	317.8	525	-	16,695	-	-	221,070	288	63.67
Duty del V-E-1	24.5	12.0	-	317.8	-	-	-	-	-	-	-	21.67
GOP a FCC	24.5	12.0	-	317.8	375	-	16,695	-	-	221,070	190	42.00
GOP a Caldereta V-E-3 A/B	24.5	12.0	-	317.8	525	-	39,485	-	-	522,847	288	150.58
Duty del V-E-3	24.5	12.0	-	317.8	-	-	-	-	-	-	-	31.37
GOP al enfriador V-E-4	24.0	12.0	-	317.8	435	-	39,485	-	-	522,847	228	119.21
Duty del V-E-4	24.0	12.0	-	317.8	-	-	-	-	-	-	-	31.38
GOP Retorno a Columna	24.0	12.0	-	317.8	335	-	39,845	-	-	522,847	167	87.32
GOL a bomba V-P-5 A/B	31.0	11.7	-	305.10	245	-	17,755	-	-	225,710	116	26.18
GOL al enfriador V-E-6 A/B	31.0	11.7	-	305.10	245	-	13,515	-	-	171,809	116	19.93
Duty del V-E-6 A/B	31.0	11.7	-	305.10	-	-	-	-	-	-	-	12.54
GOL retorno a columna	31.0	11.7	-	305.10	100	-	13,515	-	-	171,809	43	7.39
GOL al Pool Diesel	31.0	11.7	-	305.10	245	-	4,240	-	-	53,901	116	6.25
Vapores a Eyectores	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vapor de Agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas	-	-	30	-	92	-	1,561	-	-	-	510	0.80
Agua Desmineralizada al V-E-5	-	-	-	-	220	-	30,300	-	-	-	230	6.96
Duty del V-E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F/S
Agua Desmineralizada al V-E-3	-	-	-	-	220	-	30,300	-	-	-	230	6.96
Duty del V-E-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.18
Vapor al Sistema de Servicio	-	-	-	-	356	-	30,300	-	-	-	1226	37.19
	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-

7.3. PERFORMANCE DEL HORNO

Los principales resultados para la máxima carga procesada son los siguientes:

Densidad Zona Radiante:

10,580 BTU/Hr. pie², siendo el valor recomendado para el tipo de horno en el rango de 8,000 a 14,500 BTU/Hr. pie².

Densidad Zona Convencional:

6,276 BTU/Hr. pie².

Velocidad Másica Zona Radiante:

360 Lb/pie²- Seg. Siendo el recomendado en el rango de 250 a 350 Lb/pie². Seg.

Salida de Zona Radiante:

74.2 Lb/pie². Seg.; siendo el recomendado en el rango de 60 a 1000 Lb/ pie². Seg.

La evaluación de la performance del horno se presenta en forma detallada a continuación:

PERFORMANCE DEL HORNO DE LA UNIDAD DE VACIO

Corrida de Prueba A 26.6 MBPD De Carga

1. BASES DE CÁLCULO

Carga al Horno = 26,578 BPD = 355,852 Lb/Hr.

Carga calórica del Horno = 88.0 MM BTU/Hr.

Temp./Entalpía de entrada al Horno = 487° F/258 BTU/Lb.

Temp./entalpía de salida del Horno = 745° F/505.3 BTU/Lb.

Exceso de aire = 30%

Temperatura de Chimenea = 840° F

Eficiencia del Horno = 77%

Porc. De calor absorbido en zona radiante = 70% (*)

Temperatura de gases de combustión = 1,700°F

Flujo de calor en aire de combustión (q aire) = 0.0

Flujo de calor en combustible (q_{comb}) = 0.0

Pérdidas de calor en el Horno = 2.0% del calor neto liberado

Dimensiones del Horno:

Longitud: 57.42 piés

Ancho: 17.65 piés

Altura: 45.83 piés

Altura de pared divisoria: 20.83 piés

Área de transferencia de calor:

Zona de radiación: 5,090 piés²

Zona escudo: 960 piés²

Zona de convección (tubos de nudos): 1,440 piés²

Zona convección (sup. Extendida): 1,440 piés²

Número de pasos: 4

(*) Valor usado en diseño de hornos (cunado no se dispone de temperatura del cross-over).

2. EVALUACIÓN DE LA PERFORMANCE (1)

2.1. Zona de Radiación.-El metodo utilizado esta indicado en la [4].

1. Calor neto liberado (q_n)

$$\frac{88 \text{MMBTU} / \text{Hr.}}{0.77} = 114.3 \text{MMBTU} / \text{Hr.}$$

2. Calor absorbido en zona radiante (q_r)

$$0.7 \times 88 \text{MMBTU}/\text{Hr.} = 61.6 \text{MMBTU}/\text{Hr.}$$

3. Temperatura de tubos en zona radiante

a) Temp. Del cross-over:

$$745 - 0.7 (745 - 487) = 565^\circ \text{ F}$$

b) Temp. promedio de zona radiante:

$$(745 + 565)/2 = 655^\circ \text{ F}$$

c) Temp. de tubos en zona radiante:

$$655 + 100 = 755^{\circ} \text{ F}$$

4. Superficie de radiación

a) Área envolvente del Horno (A_w):

$$2 \times (17.7 + 57.4) + 2(45.8 \times 57.4) + 2 (17.7 \times 45.8) \\ + 2 (20.38 \times 57.4) = 11,250 \text{ piés}$$

b) Área superficial en zona de radiación (A_{sr})

- Zona de radiación	5,090	piés ²
- Zona de escudo	960	piés ²
Total:	6,050	piés ²

(1) Se utiliza el método de Wimpress, Hydrocarbon Processing 42, Vol. N°10, pág. 115, 1963.

c) Área Plana equivalente (αA_{cp}):

\varnothing pg	Nº de tubos	A_{cp} piés ²	Relación de espaciamien.	α (*)	αA_{cp} piés ²
7	14	1,105.2	1.75	0.93	1,044.3
8	16	1,224.9	1.77	0.925	1,133.0
10	2	191.4	1.80	0.918	175.7
12	2	229.7	1.81	0.916	210.4
16	3	459.3	1.86	0.910	418.0
				Total:	2,981.4

(*) De figura 2 de Wimpress.- **Anexo N° 4**

d) Área Radiante (A_r):

$$11,250 - 2,981 = 8,268.6 \text{ piés}^2$$

5. Producto presión parcial CO₂ – H₂O y longitud media de la llama

a) Volumen de cada cámara:

$$V = 8.85 \times 57.4 \times 45.8 = 23.266 \text{ piés}^3$$

b) Longitud media de flama (L) = $2/3(V)^{1/3}$

$$L = 2/3(23,266)^{1/3} = 19.03 \text{ piés}$$

c) Presión parcial de CO₂ y H₂O (P): 0.22 atm.

Figura 3 de Wimpress.- **Anexo N° 4**

d) PL : 4.19

6. Balance de Calor

$$Q_{entra} = Q_{sale}$$

$$q_n + q_{comb.} + q_{aire} = q_R + q_L + q_G \quad (\text{Ecuación 8 Wimpress})$$

q_n : Calor neto

q_{comb} : Calor de combustión

q_{aire} : Calor del aire

q_R : Calor de radiación

q_L : Calor perdido

q_G : Gases de salida de zona de radiación

Nota: q_{comb} y q_{aire} son despreciables.

$$\frac{q_r}{\alpha A_{cp} F} = \left(1 - \frac{qL}{q_n} - \frac{q_s}{q_n} \right) \frac{q_n}{\alpha A_{cp} F}$$

$$\frac{q_r}{\alpha A_{cp} F} = \sigma (TG^4 - T_i^4) + 7(TG - T_i) \quad (\text{Ecuación 7 de Wimpress})$$

$$T_i = 755^\circ F \quad (1,215^\circ R)$$

$$\sigma = 1.7108 \times 10^{-9} (BTU / Hr.) / pie^2 -^\circ R^2$$

$$X = \frac{q_r}{\alpha A_{cp} F} = 1.7108 \times 10^{-9} (TG^4 - 1,215^4) + 7(TG - 1,215)$$

$t_g (^{\circ}F)$	$Tg (^{\circ}R)$	X
1000	1460	5,760
1200	1660	12,377
1400	1860	21,263
1600	2060	32,995
1800	2260	48,217
2000	2460	67,639
2200	2660	92,036

1ra. Iteración

a) Temperatura de la cámara: 1,700°F (igual a temperatura de gases de combustión)

b) Emisividad: 0.52 Figura 4 de Wimpress.- **Anexo N° 4**

c) Relación de áreas:

$$\frac{Aw}{\alpha A_{cp}} = \frac{8,268.6}{2,981.4} = 2.8$$

d) Factor de intercambio (F): 0.82 (Figura 5 de Wimpress)

e) Área plana equivalente corregida ($\alpha A_{cp} F$): 2,444.7 piés

f) $\frac{q_n}{\alpha A_{cp} F} = 114.3 \times \frac{10^6}{2,444.7} = 46,754 \frac{BTU}{hr. - pie^2}$

g) Temp. de gases de combustión a salida de zona de combustión (t_g): 1,700°F (igual a temp. De gases de combustión).

h) Relación $\frac{q_g}{q_n} : 0.5$ (Figura 7 de Wimpress)

q_g : Calor de gases de combustión a condiciones de salida de zona de radiación.

i) Calor del combustible (q_{comb}) = 0.0

j) Calor del aire (q_{aire}) = 0.0

k) Pérdida de calor ($\frac{q_L}{q_n}$) = 0.02

l) $\frac{q_r}{(\alpha A_{cp} F)} = (1 - 0.02 - 0.5)46,754 = 22,442 \frac{BTU}{Hr. - pie^2}$

2da. Iteración

a) Temperatura de cámara = 1500° F

b) Emisividad: 0.54 Figura 4 de Wimpress.- **Anexo N° 4**

c) Factor de intercambio: 0.83 Figura 5 de Wimpress.- **Anexo N°4**

d) $\alpha A_{cp} F = 2,474.6 \text{ piés}^2$

e) $q_n / \alpha A_{cp} F = 46,290 \text{ BTU} / \text{Hr.} - \text{pie}^2$

f) $q_g / q_n = 0.425$

g) $q_r / \alpha A_{cp} F = 25,635 \text{ BTU} / \text{Hr.} - \text{pie}^2$

3ra. Iteración

Extrapolando en la **Figura 3.1** para valores obtenidos en iteraciones interiores:

a) Temperatura de cámara: 1,480° F

b) $\frac{q_g}{q_n} = 0.42$

c) $\frac{q_r}{\alpha A_{cp} F} = 25,866$

7. Densidad radiante

- a) Calor absorbido en zona radiante:

$$q_r = 25,866 \times 2,474.6 = 64.01 \text{ MMBTU}/\text{Hr.}$$

- b) Densidad radiante

$$\frac{q_r}{A_{sr}} = \frac{64.01 \text{ MMBTU}/\text{Hr.}}{6,050 \text{ piés}^2} = 10,580 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr. pié}^2}$$

(Valor recomendado: 8,000 – 14,500 BTU/Hr. – pié²)

8. Revisión de la Temperatura del Cross-Over

- a) Incremento de entalpía en zona de radiación:

$$\frac{64.01 \times 10^6 \text{ BTU}/\text{hr.}}{355,852 \text{ lb}/\text{hr.}} = 179.9 \text{ BTU}/\text{lb.}$$

- b) Entalpía en el cross-over: $505.3 - 179.9 = 325.4 \text{ BTU}/\text{lb.}$

- c) Temperatura del cross-over: 560° F

- d) Temperatura de tubos en zona radiante:

$$(560 + 745)/2 = 653^\circ \text{ F}$$

- e) Temperatura de tubos en zona radiante:

$$653 + 100 = 753^\circ \text{ F}$$

Este valor es bastante aproximado al obtenido en el paso 3, por lo que se considera que el procedimiento ha convergido en la zona radiante.

2.2. Zona de Convección.-

1. Calor absorbido en zona de convección:

$$88.0 - 64.01 = 23.99 \times 10^6 \text{ BTU}/\text{hr.}$$

2. Área de tubos de convección con superficie extendidas:

$$1,400 \text{ piés}^2$$

3. Área de tubos de convección con superficie extendida:

a) Tubería desnuda: 1,400 piés

b) Superficie extendida:

$$18 \frac{\text{aletas}}{\text{fila}} \times 668 \frac{\text{filas}}{\text{tubo}} \times 24 \text{ tubos} \times 3.14 \times 0.275 \text{ pg} \times 0.59 \text{ pg}^2 \times \frac{\text{pie}^2}{144 \text{ pg}^2} = 1,022$$

4. Área total de convección: $3,822 \text{ piés}^2$

5. Densidad convectiva:

$$\frac{23.99 \times 10^6 \text{ BTU}/\text{Hr.}}{3,822 \text{ piés}} = 6,276 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr.} - \text{pie}^2}$$

2.3. Cálculo de la Velocidad Másica

1. Entrada a zona radiante:

a) Flujo de crudo reducido en cada paso:

$$\frac{355,852 \text{ lb}/\text{hr.}}{3600 \frac{\text{seg.}}{\text{hr.}} \times 4} = 24.7 \text{ Lb}/\text{seg.}$$

b) Área de flujo de cada paso (diámetro interno: 3.548pg):

$$0,0686 \text{ piés}^2$$

c) Velocidad másica: $\frac{24.72}{0.0686} = 360 \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^2 - \text{seg.}}$

(Valor recomendado: $250 - 350 \text{ Lb}/\text{pie}^2 - \text{seg.}$)

2. Salida de zona radiante:

a) Área de flujo en cada paso (diámetro interno: 7,813 pulg)

$$\text{Velocidad másica: } \frac{24.72}{0.333} = 74.2 \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^2 - \text{seg}}$$

(Valor recomendado $60 - 100 \text{lb}/\text{pie}^2 - \text{seg.}$)

CORRIDA DE PRUEBA: PRODUCCION DE ASFALTO

1. BASES DE CALCULO

Carga	: 25,018 BPD = 337,275 Lb/Hr.
Carga Calórica	: 94.42 MMBTU/Hr.
Temp. Entrada/Entalpía de Entrada	: 459° F/240 BTU/Lb
Temp. Salida/Entalpía de Salida	: 750° F/520 BTU/Lb
Exceso de Aire	: 30%
Temp. Chimenea	: 836 ° F
Eficiencia	: 77%
Porc. De calor absorbida en zona radiante	: 70%

2. EVALUACION DE LA PERFORMANCE

2.1. Zona de radiación.-

1. Calor neto liberado

$$\frac{94.42}{0.77} = 122.62 \text{MMBTU} / \text{Hr.}$$

2. Calor absorbido en zona radiante

$$0.7 \times 94.42 = 66.09 \text{ MMBTU}/\text{Hr.}$$

3. Temp. de tubos en zona radiante

Temp. del cross-over:

$$750 - 0.7 (750 - 459) = 546^\circ \text{ F}$$

Temp. Promedio de zona radiante:

$$(750 + 546)/2 = 648^\circ \text{ F}$$

Temp. tubos de zona radiante

$$648 + 100 = 748^\circ \text{ F}$$

4. Superficie de radiación

$$A_w = 11,250 \text{ piés}$$

$$A_{sr} = 6,050 \text{ piés}$$

$$\alpha A_{cp} = 2,981 \text{ piés}$$

$$A_r = 8,268.6 \text{ piés}$$

5. Producto presión parcial CO₂-H₂O y long. media de llama

$$V = 46,532 \text{ piés}^3$$

$$L = 23,98 \text{ piés}$$

$$P = 0.225 \text{ (Fig. 22)}$$

6. Balance de calor

$$x = \frac{Q_R}{\alpha A_{cp} F} = 1.7108 \times 10^{-9} (T_G^4 - 1,208^4) + 7(T_G - 1,208)$$

$T_G(^{\circ}F)$	$T_G(^{\circ}R)$	X
1,000	1,460	5,894
1,200	1,660	12,512
1,400	1,860	21,397
1,600	2,060	33,129
1,800	2,260	48,352
2,000	2,460	67,774
2,200	2,660	92,171

1ra Iteración

$$T_G = 1,700^{\circ}F$$

Emisividad: 0.575

$$\frac{A_w}{\alpha A_{cp}} = 2.8$$

$$F = 0.82$$

$$\alpha A_{cp} F = 2,444.7 \text{ piés}^2$$

$$\frac{q_g}{q_n} = 0.5 \quad T_G = 1,700$$

$$\frac{q_n}{\alpha A_{cp} F} = \frac{122.62}{2,444.7} = 50,158$$

$$\frac{q_R}{\alpha A_{cp} F} = (1 - 0.02 - 0.5)50,158 = 24,076$$

2da Iteración

$$T_G = 1,500^\circ F$$

Emisividad: 0.585

$$F = 0.825$$

$$\alpha A_{cp} F = 2,459.7 \text{ piés}^2$$

$$\frac{q_n}{\alpha A_{cp} F} = 49,852$$

$$\frac{q_g}{q_n} = 0.425$$

$$\frac{q_R}{\alpha A_{cp}} = (10 - 0.02 - 0.425)49,852 = 27,668$$

7. Densidad radiante

$$q_R = 27,668 \times 2,459.7 = 68.5 \text{ MMBTU}/\text{Hr.}$$

$$\frac{q_R}{A_{sr}} = \frac{68.05}{6050} = 11,249 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr} - \text{pie}^2}$$

8. Revisión de la temperatura del cross-over

a) Incremento de entalpía en zona de radiación:

$$\frac{68.05 \text{ MMBTU}/\text{Hr.}}{337,275 \text{ Lb}/\text{Hr.}} = 291.76 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$$

b) Entalpía en el cross-over:

$$520.0 - 201.8 = 318.2$$

c) Temp. del cross-over: $575^\circ F$

d) Temp. promedio en zona radiante:

$$(575 + 750)/2 = 662^{\circ} F$$

e) Temp. de tubos en zona radiante:

$$662 + 100 = 762^{\circ} F$$

Aproximado a $748^{\circ} F$

2.2. Zona de Convección.-

1. Calor absorbido en zona de convección:

$$94.42 - 66.09 : 28.37 \text{ MMBTU}/\text{Hr.}$$

2. Área total de zona de convección: 3,822

3. Densidad convectiva:

$$\frac{28.33 \times 10^6 \text{ BTU} / \text{Hr.}}{3,822 \text{ piés}^2} : 7,412 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr} - \text{pie}^2}$$

2.3 Cálculo de Velocidad Másica.-

1. Flujo de crudo reducido:

$$\frac{337,275 \text{ Lb}/\text{hr}}{3,600 \frac{\text{seg}}{\text{Hr.}} \times 4} = 23.42 \text{ Lb}/\text{seg.}$$

2. Área de flujo por paso: 0.0686 pie^2

3. Velocidad másica a la entrada al horno:

$$\frac{23.42}{0.0686} = 341 \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^2 - \text{seg.}}$$

4. Velocidad másica a la salida del horno:

$$\frac{23.42}{0.332} = 70 \text{ lb}/\text{pie}^2 - \text{seg.}$$

La data utilizada del horno corresponde a las de diseño original, cuyo detalle se ilustra a continuación:

CALCULO DEL “DUTY” DE DISEÑO DEL HORNO Y SU DISTRIBUCIÓN

1. Zona radiante

- Superficie total de transferencia de calor: 5,090 pies²
- Densidad de calor máximo promedio: 10,000 Btu/Hr-pie²
- Absorción de calor total (Duty): 50'900,000 Btu/Hr.

2. Zona de escudo

2.1. Primera fila

- Superficie de transferencia de calor: 480.0 pies²
- Densidad de calor máximo promedio(1): 10,000 Btu/Hr-pie²
- Absorción de calor total (Duty): 4'800,000 Btu/Hr.

2.2. Segunda fila

- Superficie de transferencia de calor: 480.0 pies²
- Densidad de calor máximo promedio. (30% de densidad radiante más la convencional): 7,000 Btu/Hr-pie²
- Absorción de calor total (Duty): 3'360,000 Btu/Hr

2.3. Duty total de la zona de escudo: 8'160,000 Btu/Hr

3. Zona de convección

3.1. Tubos lisos

- Superficie de transferencia de calor: 1,440 pies²
- Densidad de calor máximo promedio: 4,000 Btu/Hr-pie²
- Absorción de calor total: 5'760,000 Btu/Hr

3.2. Tubos de superficie Extendida

- Superficie de transferencia de calor: 2,674 pies²
- Densidad de calor máximo promedio: 4,000 Btu/Hr-pie²
- Absorción de calor total: 10'696,000 Btu/Hr.

3.3. Duty total de la zona de convección: 16'456,000 Btu/Hr.

4. Duty total del horno: 75.52 MMBtu/Hr.

5. Distribución de la absorción de calor:

- Zona Conveccional:	21.8%
- Zona de escudo:	10.8%
- Zona radiante:	67.4%
Total	100.0%

NOTA:

- (1). La primera fila de tubos de la zona de escudo se considera como parte de la zona radiante.
- (2). La absorción de calor de la segunda fila de tubos de la zona de escudos es igual al 30% del calor radiante adicional al calor de convección.

7.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA COLUMNA DE DESTILACION

La evaluación de las dimensiones en la columna en cada sección con los flujos reales de la experiencia y el perfil de temperaturas respectivo, aplicado para una carga máxima de 26.6 MBPD se presenta en forma detallada en la Tabla N° 7.4 [5].

Es importante mencionar que el dimensionamiento de la torre está referida al procesamiento de una carga liviana, es decir la que genera un un mayor rendimiento de gasóleos(Gasóleo Liviano + Gasóleo Pesado) del orden de 79 %.

Los resultados indican que las tres zonas de diferente diámetro cumplen con las condiciones de diseño original.

	DIAMETRO DE DISEÑO	DIAMETRO REQUERIDO	AREA
	Pies	Pies	Pies ²
Zona Tope	10.0	10.0	79.3
Zona de Gasoleo Pesado	20.0	18.9	283
Zona Flash	20.0	15.5	184.5
Zona de Fondos	6.0	6.0	28.3

Los valores encontrados permiten deducir que no existen limitaciones en las dimensiones de la columna de destilación para una carga de Crudo Reducido Atmosférico de un rango de gravedad entre 22.0 a 23 API y los cortes de GOL, GOP, Slop Wax y Crudo Reducido de Vacío de 30.8, 24.5, 16.3 y 10.0 API respectivamente.

De los resultados podemos deducir que en la zona flash, existe un margen aprovechable de 22.5%, que permitiría incrementar la carga a procesar, siempre y cuando la zona de Gasóleo Liviano no supere el flujo de 55,480 lb/ Hr que ascienden a la zona de tope(Gases + Gasóleo Liviano); así como el flujo de vapores que ascienden a la zona de Gasóleo Pesado no sobrepase el valor de 353,728 Lb/ Hr, aún teniendo un margen de flexibilidad de 5.5 % con respecto al diámetro de diseño.

Con respecto al fondo de la torre, el tiempo de residencia calculado, oscila entre 1.0 a 1.2 ft/min, situación que obliga a plantear el uso de una nueva bomba de mayor capacidad y potencia, para conseguir tiempo de residencia menores a 0.8 ft/min, que permitiría un menor riesgo en el craqueo térmico.

TABLA N° 7.4

EVALUACION DEL DIMENSIONAMIENTO DE COLUMNA DE DESTILACIÓN AL VACIO

	ZONA FLASH		ZONA DE GASOLEO PESADO		ZONA DE TOPE	
TEMPERATURA, °F/R	725/1,185		660/1,120		92/552	
PRESION, mmHg/psia	130/2.58		70/1.35		40/0.774	
VAPORES SUBIENDO	Lb/Hr.	MOL/Hr.	Lb/Hr.	MOL/Hr.	Lb/Hr.	MOL/Hr.
Gas	1,579	53	1,579	53	1,579	53
Vapor						
GOL	53,901	207	53,901	207	53,901	207
GOP	221,070	533	221,070	533		
Slop Wax	12,997	25	77,584	152		
	289,547	818	353,728	945	55,480	260
PESO MOLECULAR	354		374		213	
VELOC. PERMISIBLE, pies/seg.	5.967		8.24		10.92	
$V_p = 2.5 \sqrt{\frac{14.7}{psia}}$						
DENSIDAD DE VAPORES, Lb/pie³	0.0718		0.0422		0.0178	
$\rho = \frac{psia \times PMol.}{10.73^\circ R}$						
VOLUMEN DE VAPORES, piés³/seg.	1,120		2,331		866	
$V = \frac{Lb / Hr.}{3600\rho}$						
AREA REQUERIDA	184.5		283		79.3	
$A = \frac{V}{V_p}$						
DIAMETRO REQUERIDO, pies	15.5		18.9		10.0	
DIAMETRO EXISTENTE, pies	20.0		20.0		10.0	

8. MODIFICACIONES IMPLEMENTADAS

8.1. MODIFICACIONES DE RÁPIDA REALIZACION.-

8.1.1 Adecuación de la Unidad de vacío a semi-húmedo.-

La Unidad de Vacío fue diseñada, para una operación húmeda, es decir inyección de vapor en los cuatro circuitos de carga que ingresan a la cámara radiante del horno e inyección de vapor de agua en el fondo de la columna.

Para favorecer la funcionalidad del sistema de vacío, se eliminó la inyección de vapor al fondo y también se eliminó la condición de riesgo por posible presencia de humedad, especialmente en periodos de inestabilidad de la operación.

Al pasar de diseño húmedo a operación de diseño seco, se define retirar los cuatro platos perforados del fondo de la torre.

Considerando que el principio de operación de la unidad de vacío es minimizar la presión, la disminución del flujo de vapor a lo largo de la torre y hacia el sistema de eyectores, es posible conseguir un mejor perfil de presión de vacío en la torre, lo que posibilita el diseño y la operación a un mínimo de temperatura en el tope de la columna de vacío. Este aspecto es reforzado con el hecho que no existe un precondensador antes del primer eyector (primera etapa).

En unidades de diseño seco que no tienen un precondensador instalado, es necesario incrementar la temperatura del tope de la torre con el objetivo de conseguir una mejor presión de vacío.

Finalmente, entre diseño húmedo y seco, podemos concluir con las siguientes pautas:

- Para ambos casos es posible conseguir el mismo grado de vaporización.
- El diámetro para ambos diseños es aproximadamente igual , el gran volumen de vapor generado a presión de vacío menor en el diseño

seco, es equilibrado con el flujo de vapor inyectado en el diseño húmedo.

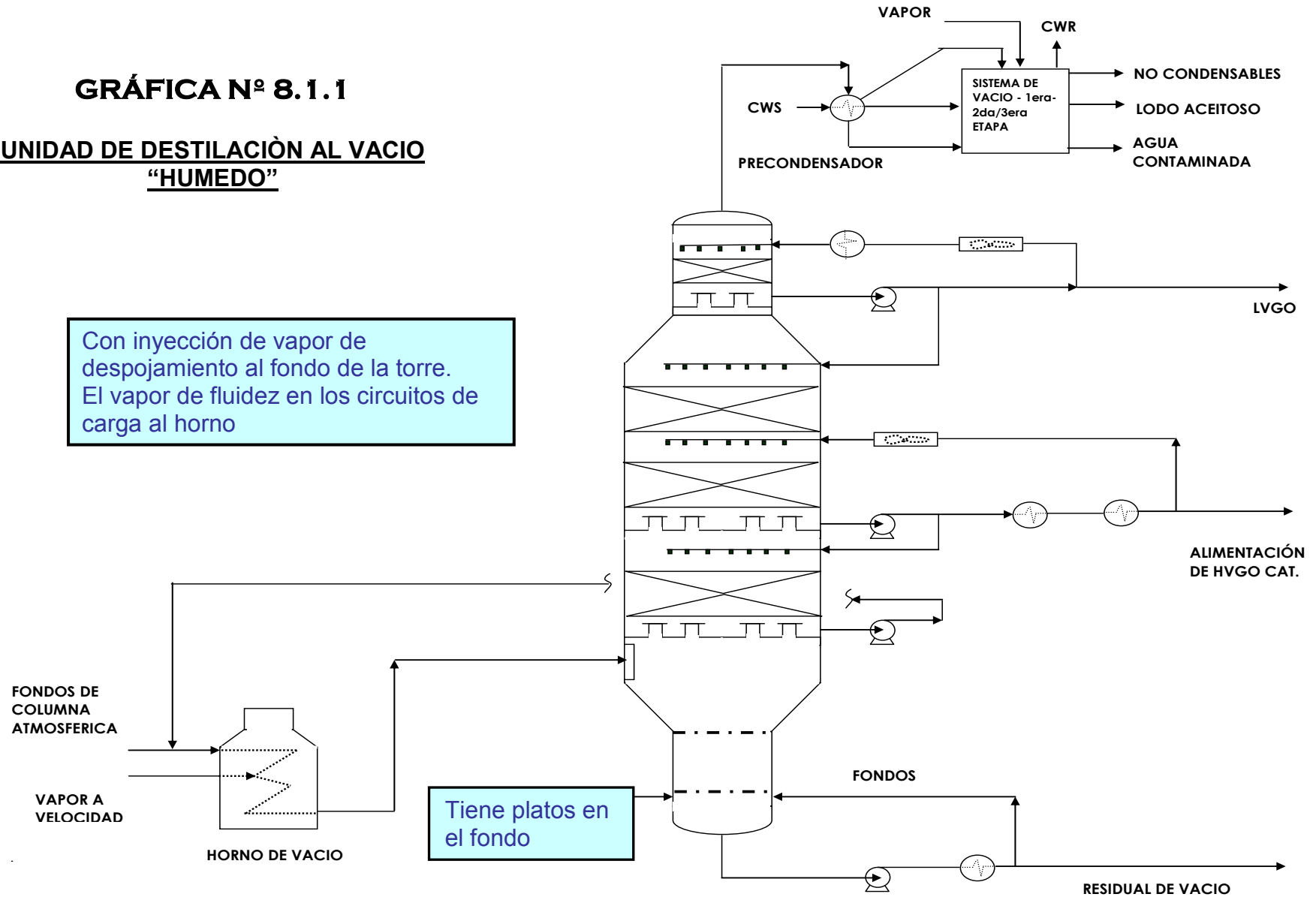
- El consumo de vapor en el diseño seco, por el flujo adicional en la primera etapa del eyector del sistema de vacío, ligeramente mayor que en el diseño húmedo.

Desde el punto de vista operativo, el diseño seco en unidades de vacío es preferido, por eliminar la condición de riesgo que significa la humedad del vapor que se inyecta en el fondo de la torre.

A continuación se muestra el diagrama de procesos simplificado en las Gráficas N° 8.1.1 a la Gráfica N° 8.1.3. [6]

GRÁFICA N° 8.1.1
UNIDAD DE DESTILACIÓN AL VACIO
"HUMEDO"

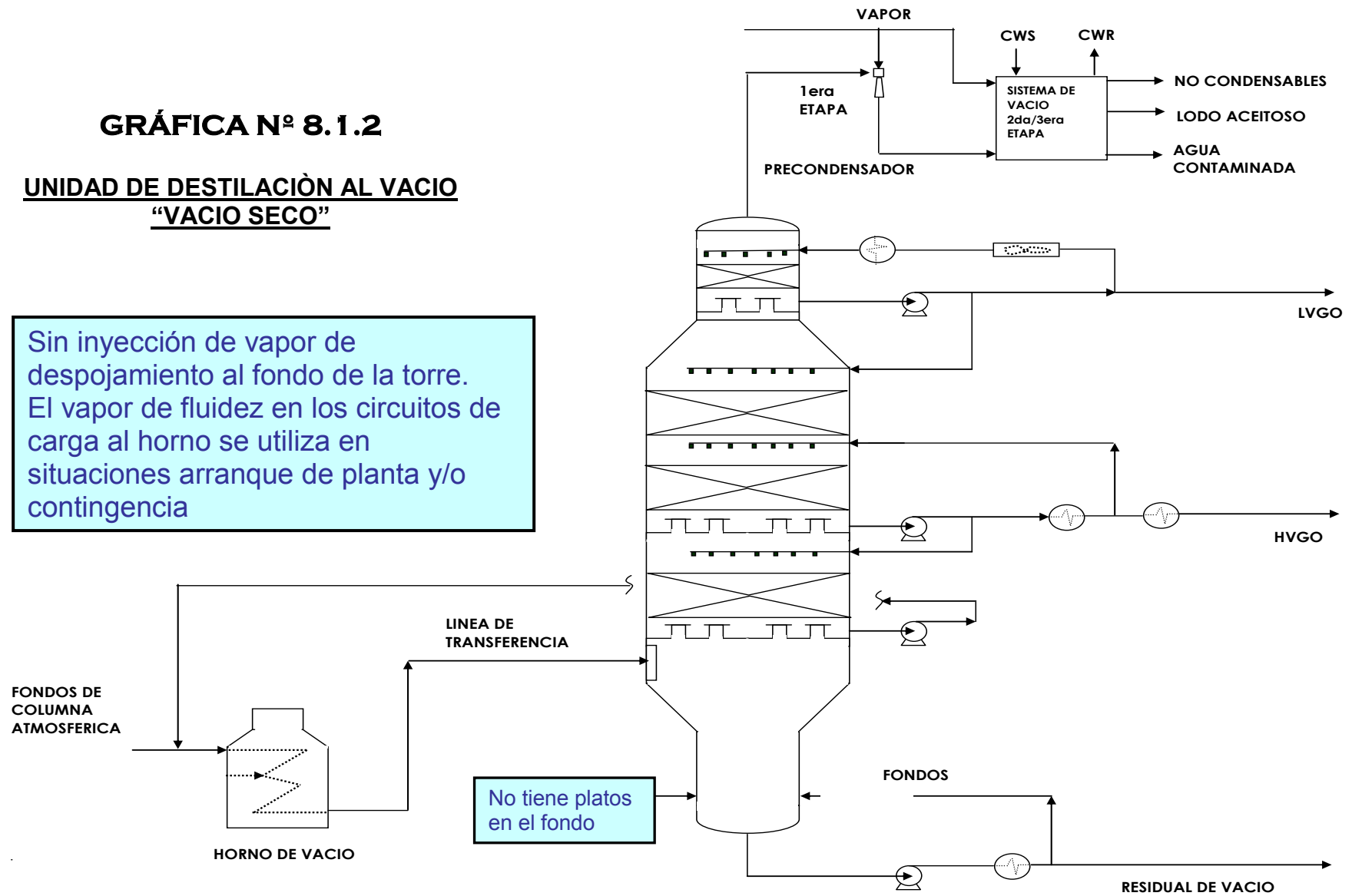
Con inyección de vapor de despojamiento al fondo de la torre.
 El vapor de fluidez en los circuitos de carga al horno



GRÁFICA N° 8.1.2

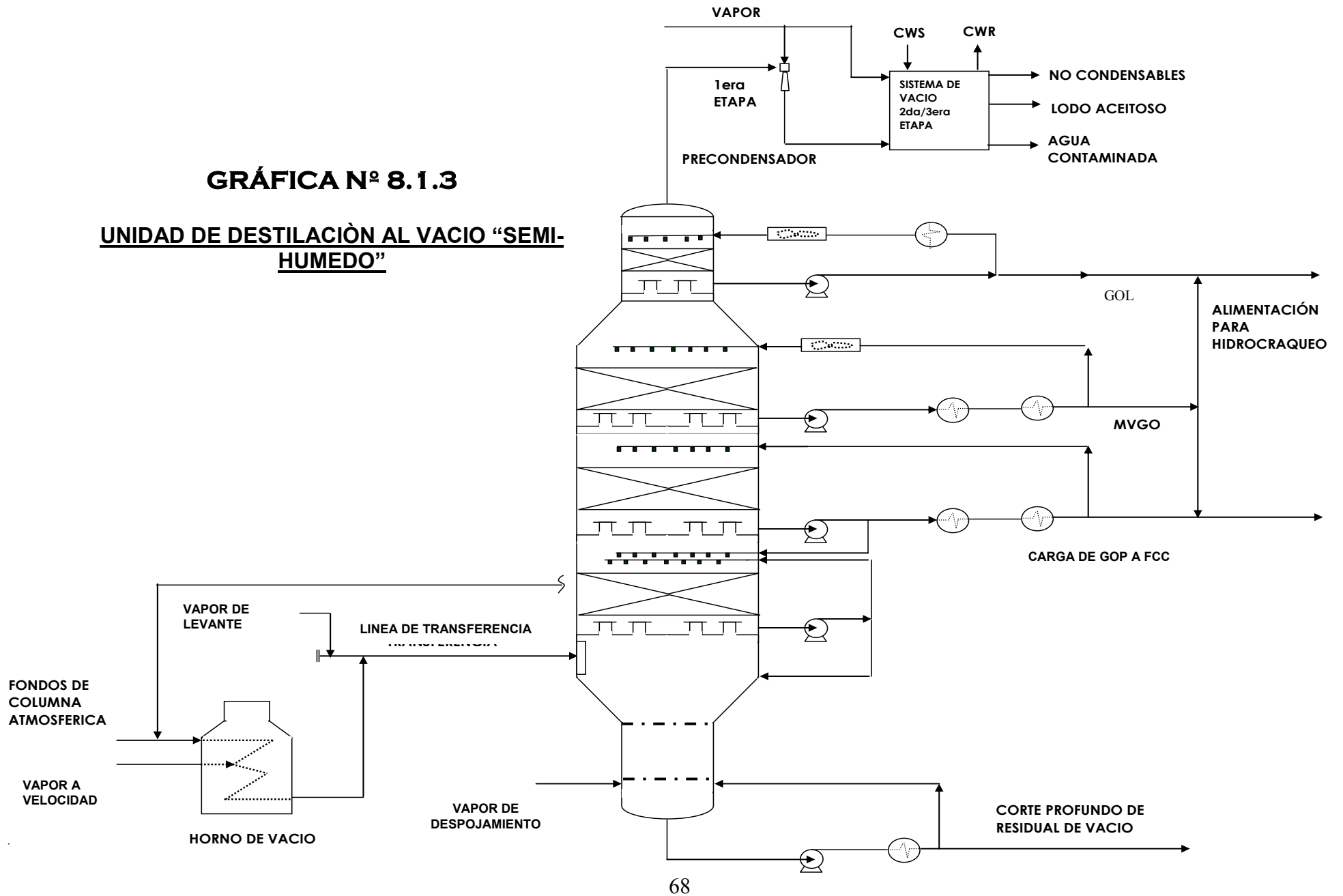
UNIDAD DE DESTILACIÓN AL VACIO "VACIO SECO"

Sin inyección de vapor de despojamiento al fondo de la torre.
El vapor de fluidez en los circuitos de carga al horno se utiliza en situaciones arranque de planta y/o contingencia



GRÁFICA N° 8.1.3

UNIDAD DE DESTILACIÓN AL VACIO "SEMI-HUMEDO"



8.1.2. Cambio de servicio del intercambiador de calor VE1-E.-

Las características de los intercambiadores de calor de la unidad de vacío en relación al diseño original y los resultados obtenidos durante la evaluación realizada se presenta en la Tabla N° 8.1.2. [7].

El intercambiador VE1-E originalmente estaba asignado para la corriente de Gasoleo Pesado vs. Crudo Reducido Atmosférico. La corriente de Gasoleo Pesado mantiene una temperatura de ingreso al intercambiador de 525-530° F.

El Crudo Reducido de Vacío, en el fondo de la torre tiene una temperatura en el rango de 685-688° F, situación que constituye una alternativa mejor de precalentamiento del Crudo Reducido Atmosférico (carga a la unidad de vacío).

Algunos datos a tomar en cuenta son los siguientes:

	VE-1 E	VE2-A	Unidad
N° tubos	200	144	
N° pasos	6	10	
Diam-Externo	1.5	1.5	pulg.
BWG	12	12	
Diam-Interno	1.282	1.334	pulg
Longitud	16	16	pies
Material	Acero	Acero	

Luego de evaluar los materiales, condiciones de operación, se decidió cambiar de servicio a Crudo Reducido de Vacío vs. Crudo Reducido Atmosférico, con lo cual se favorecía un incremento de 12-15° F en el precalentamiento de la carga y por lo tanto un aumento en la carga para el mismo consumo de gas combustible. Un efecto aleatorio es disminuir la temperatura del Crudo Reducido de Vacío, favoreciendo su almacenamiento final a condiciones apropiadas.

El circuito de intercambio de calor original y modificado se muestra en la Gráfica N° 8.1.2.

TABLA N° 8.1.2

INTERCAMBIADORES DE CALOR DE LA UNIDAD DE VACIO

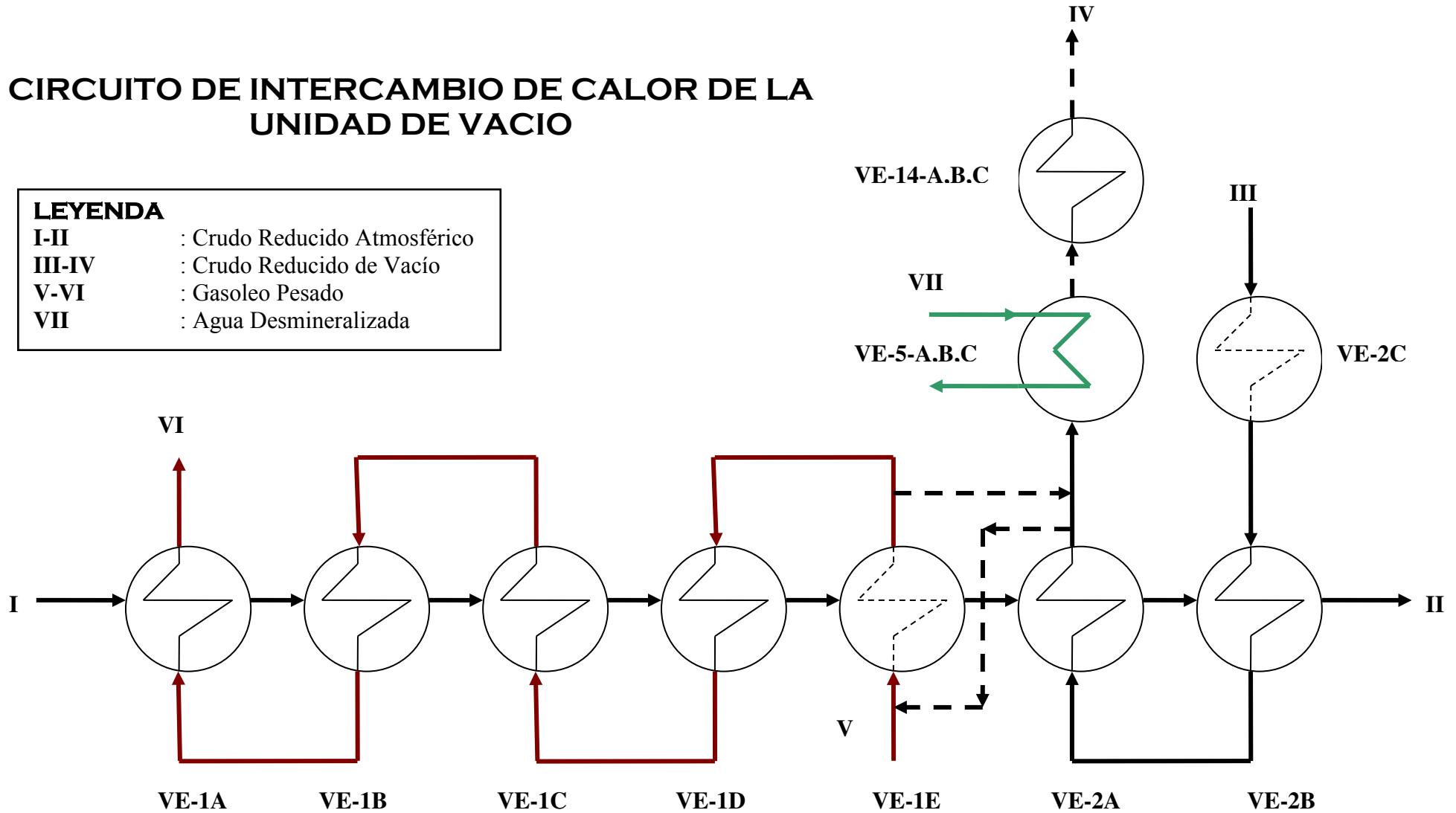
INTERCAMBIADOR	SERVICIO	INTERCAMBIO DE CALOR			DIFER. TEMP. CORREG.		COEFIC. DE TRANSF.		UOP Diseño
		Diseño	Actual	AREA Piés²	Diseño	Actual	Diseño	Actual	
VE1- A/B/C/D/E	C.R. HCT vs HVGO	19.1×10 ⁶	22.07×10 ⁶	6,085	72.2	48.7	43.5	74.4	40
VE2 -A/B	C.R. HCT vs. Fondos	5.7×10 ⁶	9.25×10 ⁶	1,744	152.8	82.4	21.4	64.3	20
VE3 -A/B	Água concen. Vs. HVGO	31.5×10 ⁶	30.18×10 ⁶	5,090	90.6	186.0	68.3	31.4	50
VE4	HVGO vs. Aire	22.1×10 ⁶	-	44,400	193.0	-	2.58	-	
VE5 -A/B/C	Fondos vs. Água mar	4.3×10 ⁶	-	2,800	109.0	-	14.1	-	30
VE6 -A/B	LVGO vs. Água mar	9.4×10 ⁶	12.54×10 ⁶	3,786	51.1	54.0	48.6	61.3	45
VE7 (2)	Fondos vs. Água mar	2.5×10 ⁶	-	3,952	140.0	-	4.5	-	30
VE8 (1)	Slop Wax vs. Aire	2.1×10 ⁶	-	3,170	245.0	-	2.7	-	

GRÁFICA N° 8.1.2

CIRCUITO DE INTERCAMBIO DE CALOR DE LA UNIDAD DE VACÍO

LEYENDA

- I-II** : Crudo Reducido Atmosférico
- III-IV** : Crudo Reducido de Vacío
- V-VI** : Gasoleo Pesado
- VII** : Agua Desmineralizada



8.1.3. Reemplazo de válvulas de control del circuito de ingreso de carga al horno.-

Se reemplazaron las cuatro válvulas de control (VFRC-4, VFRC-5, VFRC-6, VFRC-7) de flujo de los circuitos de carga hacia el horno, favoreciendo un control mas fino para cargas mayores que la de diseño. Las aperturas de las válvulas originales no permitían un control de flujo estable y por lo tanto una variabilidad no deseada en la temperatura de salida del horno, al exigir el uso de los sobrepasos respectivos, para la carga de 26.6 MBPD.

De forma similar se procedió con la válvula de control de flujo (VFRC-43) de Crudo Reducido de Vacío, que esta ligada a la estabilidad del control de nivel de los fondos de la columna y por lo tanto temperaturas y tiempos de residencia del fluido no congruentes con la operación deseada.

En el Tabla N° 8.1.3 se muestran las características de las nuevas válvulas.

TABLA N° 8.1.3

Service	Crudo reducido Atm.	Crudo reducido Vacio
Número local	FRCAL 4/5/6/7	V-FRC-43
Tamaño/Tipo	3"-EZ-657(46)-3582	4"-VP33-11
Estilo de válvula	Globo	Angulo
Temperatura de diseño	475° F	650° F
Presión de diseño	240 psig.	136 psig.
Conexión	4"ANSI Class 300	4" ANSI 300
Entrada	RF FLG	RF FLG
Salida	RF FLG	RF FLG
Material	Carbon STL	Carbon STL
Ports	1	1
Dirección flujo	Arriba	
Seat Ring Matl	316 SST	316SS W/STELLITE SHEAT(ALLOY 06)
Válvula plug		
Material	316 SST	
Balance	Sin Balance	
Port Size	3"	4"
Características	Lineal	Lineal
Stem material	316 SST	
Stem Size	0.5 pulg.	
Actuador		
Type/Size	657/46	
Travel	1.5 Inch	
Bench Set	6-15 PSI	
Push down to	Close	
Suply	Air	
To Actuator	6-30 PSI	

Posicionador

Input Signal	3-15 psig.	3-15 psig.
Action	Direct	
Servicio		
Flujo Máximo	25,371 BPD	21,326 BPD
Flujo Operativo	24,000 BPD	19,010 BPD
Flujo Mínimo		13,034 BPD
Norm. Inlet. Press.	160 psig.	110.73 psig.
DeltaP	46 PSI	40.73 PSI
Max. Inlet. Press.	240 psig.	136 psig.
Max. Shut Off		300 psig.
Temp. Max. / Operating	475° F / 460° F	650° F / 410° F
Oper. Sp. Gr.	0.9	1.003
Oper. Visc		76 cst

8.1.4. Instalación de nueva bomba de Crudo Reducido de Vacío.-

El incremento de la carga, obligó a usar una nueva bomba VP2-C de mayor capacidad y de características mas adecuadas para regimenes de carga de 26.6 MBPD y proyectándose a cargas mas pesadas, en línea con el incremento en el procesamiento de crudo en la Unidad de Destilación Primaria de 28- 29° API vs. 34.0° API de diseño; para este caso el Crudo Reducido Atmosférico estimado para la alimentación a la Unidad de Vacío es de 15 – 16° API vs. 22-23° API de diseño.

A continuación se describe las características de la bomba VP2-C accionadas por motor eléctrico. [8]

INFORMACION TECNICA

DISEÑO BOMBA DE FONDOS: VP2-C

1. CONDICIONES DE OPERACIÓN

- Fluído:	Crudo Reducido U.D.V.
- API a 60/60° F (Grav. Esp.)	8.6 (1.010)
- Viscosidad, a P, T, cst	4.3
- NPSHA a 250 GPM, Pies	6.5
- Temperatura Operación, ° F	670 (Máx. 775° F)
- Presión Succión, psig	-11
- Presión de Vapor, psig	0.6
- Head, pies	680-700

2. BOMBA

- Marca	Worthington
- Tipo	3 HG – 124 ^a
- Flujo, BPD a T°	8,571
- Presión de descarga, psig	237
- BHP, HP	100
- NPSHR a 250 GPM, Pies	6.1

3. MOTOR

- Marca	Westinghouse
- Tipo	XP
- Potencia, HP	100
- Factor de Servicio	1.15
- Volt/Fases/Ciclos	460/3/60
- Velocidad, RPM	3600
- Amparaje, A	113
- Nema	Class Design A

EVALUACIÓN DE LA PERFORMANCE DE LA BOMBA VP2-C **OPERACIÓN U.D.V.: CRUDO REDUCIDO IMPORTADO**

1. CONDICIONES DE DISEÑO

- Capacidad (Q)	220 GPM a T
- Eficiencia (E)	45% (Worthington Performance Data)
- Head (H)	700 Pies
- Potencia	100 HP

2. CALIDAD DEL FLUIDO MANIPULADO

I° (°F)	VISCOSIDAD (cst)	
	Fondos Crudo Red.	Fondos Diseño VP2-C
300	1400	190
500	19.5	13.0
670	4.4	4.3
725	3.2	3.3

T° (°F)	GRAVEDAD ESPECIFICA	
	Fondos Crudo Red.	Fondos Diseño VP2-C
60	1.025	1.010
300	0.960	0.922
500	0.900	0.865
670	0.840	0.823
725	0.830	0.810

3. DETERMINACIÓN DE LA PERFORMANCE DE LA BOMBA

Carta a utilizarse: Hydraulic Institute Standards

Factores de corrección hallados:

$$C_Q = 1.000 \text{ (Caudal)}$$

$$C_H = 0.990 \text{ (Head)}$$

$$C_E = 0.975 \text{ (Eficiencia)}$$

$$\text{Capacidad Nueva} = Q_N = 220 \times 1.00 = 220 \text{GPM}$$

$$\text{Head Nuevo} = H_N = 700 \times 0.990 = 693 \text{pies}$$

$$\text{Eficiencia Nueva} = E_N = 45\% \times 0.975 = 43.9\%$$

BHP Fluído Diseño

$$\frac{(0.823)(220)(700)}{(3960)(0.45)} = 71.1HP$$

BHP Fluído Fondos Crudo Red. Importado.

$$\frac{(0.840)(220)(693)}{(3960)(0.439)} = 73.6HP$$

BHP Fluído Fondos a Rated. Crudo Red. Importado.

$$\frac{(0.840)(250)(693)}{(3960)(0.439)} = 83.7HP$$

BHP Fluído Fondos a 270 GPM a T, Crudo Reduc. Importado.

$$\frac{(0.840)(270)(693)}{(3960)(0.439)} = 90.4HP$$

FLUJO DE CRUDO REDUCIDO U.D.V.: NPSHA – NPSHR

CAUDAL (Q) BPSD a P. T.	CAUDAL (Q) BPSD a 60° F	NPSHA Pies	NPSHR Pies
4,114	3,371	11.0	4.0
6,034	4,945	10.5	4.2
7,543	6,181	8.0	4.5
8,571	7,024	6.5	5.1
9,257	7,596	6.1	6.0

8.2. MODIFICACIONES CON LA PLANTA FUERA DE SERVICIO.

8.2.1. Modificación de la zona convectiva del horno VH-1.-

Existen varios caminos para incrementar la confiabilidad de un horno [9, 10, 11, 12, 13] entre las cuales podemos mencionar:

- Reducción de la carga calórica a la zona radiante.
- Incrementar el área de transferencia de calor de la zona convectiva.
- Incrementar el área de transferencia de calor de la zona radiante.
- Instalar quemadores de tiro forzado.
- Adicionar quemadores.

En esta oportunidad se escogió como alternativa viable el incremento de la superficie de la zona convectiva, con el propósito de aumentar el calor absorbido y consecuentemente disminuir la temperatura de los gases que se evacuan por la chimenea (840° durante la prueba). Este objetivo fue orientado al reemplazo de tubos de superficie extendida con studs por tubería de superficie extendida aleteados (finned), manteniendo el diámetro de los mismos(4 pulg de diámetro). Los tubos lisos de la zona de interfase entre la zona radiante y la zona convectiva no sufrieron variación; la superficie externa de los mismos, son lisos.

Las características de la superficie extendida son la siguientes:

- Densidad de tubos aleteados (DT)	Aletas / pulg	5
- Dimensiones de la aleta	hxt(pulg)	0.5x0.05
- Diámetro exterior del tubo	D(pulg)	4.0
- Longitud expuesta del tubo	L(ft)	57.42
- Número de tubos aleteados	N	24

El cálculo para la superficie total es la que sigue:

$$\begin{aligned}\text{Superficie de tubo liso} &= 3.1416 \cdot D \cdot L \cdot N = 1443.12 \text{ ft}^2 \\ \text{Superficie de Aletas} &= 24 \cdot 3.1416 \cdot DT \cdot L \cdot N \cdot ((D/24+h/12)^2 - (D/24)^2) \\ &= 8117.56 \text{ ft}^2 \\ \text{Superficie total} &= 1443.12 + 8117.56 = \mathbf{9560.68 \text{ ft}^2}\end{aligned}$$

El cálculo de la superficie incremental con la modificación de la zona convectiva es:

$$\begin{aligned}\text{Área de la zona convectiva original} &= 4290 \text{ ft}^2 \\ \text{Área de la zona convectiva modificada} &= 9560 \text{ ft}^2 \\ \text{Área de la zona convectiva incremental} &= \mathbf{5270 \text{ ft}^2}\end{aligned}$$

Después de la modificación de la zona convectiva, al instalar tres hileras de tubos aleteados, durante la operación del horno permitió la variación de temperatura de la chimenea desde 840 -850° F hasta 720—725° F.

Los resultados de la performance del horno después de la modificación indicada y para una carga de Crudo Reducido Atmosferico, resultado de una mezcla de crudos 50% de crudo de la la zona de Talara y 50% de crudo foráneo(Crudo Ecuatoriano) es la siguiente:

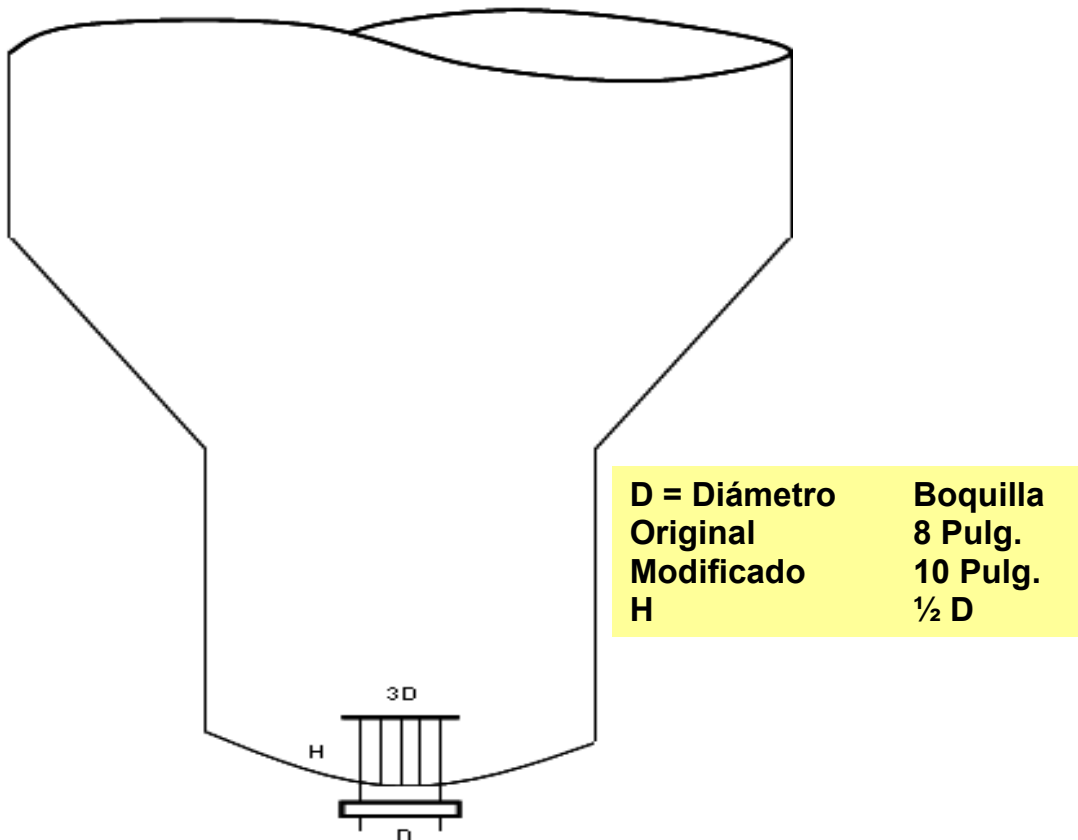
- Carga total	28.1 MBPD
- Temperatura de ingreso al horno	510 ° F
- Temperatura de salida del horno	727 ° F
- Entalpía de ingreso al horno	1065 BTU /lb
- Entalpía de salida del horno	1846 BTU / lb
- Duty de la zona convectiva	18.3 MMBTU / Hr
- Duty de la zona radiante	57.7 MMBTU / Hr
- Duty total del horno	76.0 MMBTU / Hr

8.2.2. Reemplazo de la boquilla de salida de Crudo Reducido de Vacío y tubería de salida hacia las bombas.

Para disminuir la caída de presión en la succión de las bombas de Crudo Reducido de Vacío y favorecer la presión neta positiva para las mismas, se amplía el diámetro de la boquilla de salida de la columna de vacío desde 8 pulgadas hasta 10 pulgadas de diámetro nominal, así como la tubería de succión principal, con una nueva configuración que permita una distribución de esfuerzos aceptable debido a su servicio a temperaturas en el rango de 670° a 680° F.

El cambio de la boquilla de salida del fondo de la torre, obliga a redimensionar el dispositivo mecánico para romper el vortex que normalmente se genera por el cambio de diámetro(6 pies para el fondo de la torre y 10 pulgadas para la boquilla) y la presión de succión de la bomba que descarga el crudo reducido de la columna de vacío.

A continuación se muestra un esquema simplificado:



9. PROCESAMIENTO DE CARGAS PESADAS

Esta evaluación fue realizada antes que se modifique la zona conveccional del horno VH-1, con la nueva bomba VP-2C y el intercambiador VE-1 E en el nuevo servicio de Crudo Reducido Atmosférico vs Crudo Reducido de Vacío (Fondos de Vacío).

El Crudo Reducido Atmosférico alimentado a la Unidad de Vacío, responde a una mezcla de crudo importado de 26° API y crudo de la región de 33° API, en un porcentaje volumétrico de 50% cada uno.

Las características principales son las siguientes:

Gravedad a 15.6° C	17.5	°API
Viscosidad a 37.8° C	1093	cst
Viscosidad a 50° C	430	cst
Viscosidad a 100° C	36	cst

El resultado de la destilación del método ASTM 1160 indica un punto inicial de ebullición de 140° C y una temperatura de 442° C para un recobrado de 70 % volumen.

La carga procesada en condiciones estables fue de 28.0 MBPD, lo que significa un 43 % por encima de la capacidad de diseño (19.8 MBPD).

9.1. Evaluación hidráulica del circuito de Carga y Crudo Reducido de Vacío.-

Las velocidades lineales mas elevadas corresponden a los circuitos de carga con 638 pies / minuto en el tramo de 6 pulgadas de diámetro nominal y el circuito de crudo reducido de vacío con 621 pies / minuto en la tubería de 4 pulgadas de diámetro nominal; dichos valores constituyen el 91.1 % y 88.7 % de la velocidad límite 700 pies / minuto.

En la Tabla N° 9.1, se muestran los resultados por circuito.

En lo que respecta a las válvulas de control de flujo, la VFRC-43 evidencia una baja capacidad para el régimen de 11.0 MBPD de crudo reducido, en razón a su apertura del 100% y con ayuda del sobrepaso.

De lo enunciado, los limitantes para un incremento de carga superior a 28.0 MBPD, serán los circuitos mencionados.

9.2. Evaluación de las bombas.-

La principal restricción responde a la bomba de carga VP1-A de crudo reducido atmosférico, la cual registra 126% del BEP y el motor consume un amperaje cercano al nominal, 36 vs. 39 amperios. Al respecto, una alternativa para aliviar las condiciones de trabajo establecidas aconseja operar las dos bombas en paralelo (VP1-A y VP1-B).

En lo relativo al sistema de evacuación de crudo reducido de vacío, se operó en simultáneo las dos bombas existentes, VP2-A y VP2-C, con un registros de 130 y 90 amperios respectivamente, alejado de los valores nominales de 162 y 113. En la Tabla 9.2 se muestran los resultados.

9.3. Performance del circuito de intercambio de calor.-

La precalentamiento de la carga al horno fue adecuada, al conseguir una temperatura de ingreso al horno de 511° F, para una temperatura inicial de 390° F al ingreso al primer intercambiador; estas condiciones favorecen la eficiencia del horno.

Por otro lado, la temperatura del crudo reducido de vacío, disminuyo su valor al rango de 250-300° F, situación que favorece su almacenamiento final en los tanques respectivos.

9.4. Parámetros de control operacional de la Torre de Vacío.-

Las condiciones de operación registradas y que sirven de referencia para el control operativo son las siguientes:

DESCRIPCION	TEMPERATURA, ° F	FLUJO, BPD
Tope de VV-1	137	---
Plato de GOL	288	---
Plato de GOP	508	---
Plato de Slop Wax	679	---
Zona Flash	706	---
Fondo de VV-1	700	---
Reflujo de GOL	114	16830
Reflujo de GOP	355	28000

Notas:

Presión del Tope de la Columna: VV-1: 29.50 Pulgadas de Hg.

Relación de reflujo respecto a la carga: 60% para el GOL.

Relación de reflujo respecto a la carga: 100% para el GOP

Temperatura de tope: 43 % por encima del diseño (95 °F).

9.5. Balance de masa de la Torre de Vacío.-

El estimado de balance de masa para carga pesada a la unidad se muestra a continuación:

BALANCE DE MASA DE LA UNIDAD DE VACIO

DESCRIPCION	FLUJO	%	° API	Lb/H	%
	BPD	Volumen			Peso
CARGA	28 090	100.0	17.3	9 342, 783	100.0
GOL	2 158	7.7	30.1	682, 751	7.3
GOP	14 563	51.8	23.2	4 635, 598	49.6
SLOP WAX	380	1.3	15.1	128, 287	1.4
CRUDO REDUCIDO	11 008	39.2	8.5	3 891, 774	41.7
TOTAL PRODUCTOS	28 108	100.1	---	9 338 ,411	99.9
GANANCIA/PERDIDA	-19	-0.1	---	4, 372	-0.0
TOTAL	28 090	100.1	---	9 334, 039	100.0
LIQUIDOS	11 008	39.2	8.5	3 891 ,774	41.7
VAPORIZADO	17 100	60.8	24.0	5 446, 637	58.3

Nota: Relación de líquidos a vaporizado es de 71%.

9.6. Evaluación de la capacidad del horno VH-1.-

El calor entregado total por el horno fue de 76.0 MMBTU / Hr, el cual es similar al valor de diseño(76.0 MMBtu / Hr; la distribución fue de 19.0% y 81.0% para la zona conveccional y radiante respectivamente.

La eficiencia total del horno fue de 83.4 %, para un consumo de gas combustible unitario de 101.9 y 70.8 pies cúbicos por barril de carga en cada cámara de combustión y una temperatura de chimenea de 808 °F.

La temperatura del precalentamiento de la carga antes de su ingreso al horno VH-1, tienen un valor promedio de 511 °F, valor muy por encima del diseño(456 °F); este incremento de 55 °F, ha favorecido grandemente a la performance del horno.

Por otro lado, la recuperación de calor en la zona conveccional se incrementa debido a la disminución de la temperatura de la chimenea desde valores típicos de 840 °F hasta 808 °F.

La densidad de calor en la zona conveccional y radiante registró los valores promedio de 6250 y 11,300 BTU/Hr-pie² y velocidades másicas promedio de 410 y 96 Lb/seg-pie²; valores que son similares a los parámetros limitantes. En la Tabla N° 9.6.1 y Tabla N° 9.6.2 se ilustran los resultados estimados.

TABLA N° 9.1

PROCESAMIENTO DE CARGAS PESADAS EN UNIDAD DE VACIO

VELOCIDAD LINEAL EN CIRCUITOS DE CARGA Y PRODUCTOS

Sistema	Diámetro Pulgadas	Área (ft ²)	Caudal (ft ³ /seg)	Velocidad (ft/seg)	Velocidad (ft/min)
Circuito de Carga	6	0.20	2.09	10.67	637.8
	8	0.35	2.09	5.98	358.7
Circuito de Crudo Reducido	6	0.20	0.90	4.60	276.0
	4	0.09	0.90	10.35	621.1
Reflujo de GOP	8	0.35	1.69	4.83	289.9
Producción de GOP	6	0.20	0.94	4.77	285.9
Reflujo de GOL	6	0.20	1.10	5.62	337.0
Producción de GOL	4	0.09	0.16	1.81	108.8
Producción de Slop Wax	3	0.05	0.02	0.50	29.8

Notas: pie = ft

Velocidad Límite recomendado es de 700 ft/min.

El circuito de carga para diámetros de 6 pulgadas, tiene una velocidad de 637.8 ft/ min, lo que representa un 91% del valor recomendado para estos casos. Este parámetro es manejable, si tenemos en cuenta que seguido a la tubería de 6 pulg de diámetro, tenemos la tubería de 8 pulgadas de diámetro en el circuito del horno.

TABLA N ° 9.2

PROCESAMIENTO DE CARGAS PESADAS EN UNIDAD DE VACIO

PERFORMANCE DE LAS BOMBAS Y MOTORES PRINCIPALES

EQUIPO	SERVICIO	FLUJO GPM	BEP %	AMPERAJE Amperios	
VP1-A	Carga a UDV	937	126	36	39
VP2-A	Crudo Reducido	71	284	130	162
VP2-C	Crudo Reducido	122	105	-	113
VP3-A	Slop Wax	14	9	25	30
VP4-A	GOP	509	23	120	161
VP5-A	GOL	69	12	33	40

Notas:

GOL : Gasoleo Liviano

GOP : Gasoleo Pesado

BEP : Punto de máxima eficiencia

TABLA N° 9.6.1

PROCESAMIENTO DE CARGAS PESADAS EN UNIDAD DE VACIO

CALCULO DEL CALOR ABSORBIDO Y EFICIENCIA DEL HORNO

VH-1

MEZCLA DE CRUDOS: 50% CRUDO REGIONAL Y 50% CRUDO IMPORTADO

Descripción	Unidades	Circuito N° 1	Circuito N° 2	Circuito N° 3	Circuito N° 4
Flujo	BPD	7,024	7,111	6,934	7,021
Densidad	° API	17.3	17.3	17.3	17.3
Factor KUOP		11.8	11.8	11.8	11.8
Temperatura Entrada	°F	511	511	511	511
Temperatura Cross Over	°F	579	579	583	583
Temperatura Salida	°F	720	729	726	734
Flujo Másico	Lb/Hr	97 345	98 547	96 095	97 296
Entalpía Entrada	BTU/Lb	266.23	266.23	266.23	266.23
Entalpía Cross Over	BTU/Lb	311.97	311.97	314.73	314.73
Entalpía Sal. Fase Liq.	BTU/Lb	396.51	403.12	400.91	406.81
Entalpía Sal. Fase Vap.	BTU/Lb	499.38	505.42	503.40	508.80
Entalpía Salida	BTU/Lb	456.52	462.81	460.71	466.32
Duty Conveccional	MMBTU/Hr	4.45	4.51	4.66	4.72
Duty Radiante	MMBTU/Hr	14.07	14.87	14.03	14.75
Duty Total	MMBTU/Hr	18.52	19.37	18.69	19.47
Duty Total VH-1	MMBTU/Hr	76.05			

TABLA N° 9.6.2

PROCESAMIENTO DE CARGAS PESADAS EN UNIDAD DE VACIO

CALCULO DEL CALOR ABSORBIDO Y EFICIENCIA DEL HORNO

VH-1

MEZCLA DE CRUDOS: 50% CRUDO REGIONAL Y 50 % CRUDO IMPORTADO

Gas Combustible	MPCD	OESTE:	1440.0	ESTE:	987.9
Consumo Unitario Gas	PC/BL	OESTE:	101.9	ESTE:	70.8
Eficiencia por Camara	%	OESTE:	70.0	ESTE:	102.8
Eficiencia Total VH-1	%	83.4			
Temperatura Chimenea	° F	808	EXCESO AIRE %		24
Eficiencia Total Estim.	%	77.6			
Dens. Calor Convecc.	BTU/Hr. pie ²	6 183.3	6 259.6	6 472.9	6 553.8
Dens. Calor Radiante	BTU/Hr. Pie ²	11 058.6	11 681.8	11 023.7	11 590.2
Veloc. Masica Entr.	BTU/Hr. pie ²	409.4	414.4	404.1	409.2
Veloc. Masica Sal.	BTU/Hr. Pie ²	95.9	97.1	94.7	95.9
Temperatura de Tubos	° F	N° 34 1147	N° 51 646 N° 53 709		N° 85 650 N° 87 803

10. EVALUACION ECONÓMICA.

Las bases para la evaluación económica son las siguientes:

- Carga promedio de la UDV	25.0 MBPD
- Carga real procesada en la UDV	27.0 MBPD
- Carga promedio de la UCCF	16.0MBPD
- Carga real procesada de la UCCF	18.5 MBPD
- Carga promedio de la UDP	62.0 MBPD
- Carga real procesada en la UDP	63.0 MBPD

Consideraciones:

- Se incluye solo la carga incremental en las unidades de Destilación Primaria, Destilación al Vacío y Craqueo Catalítico.
- El efecto económico de la unidad de craqueo catalítico corresponde al año 2006.El valor de 3.0 US\$ / BL, es el efecto neto, es decir descontado el costo variable unitario (0.95 US\$/BL). Para las Unidades de Destilación Primaria y Vacío son 1.6 y 2.0 US\$/BL respectivamente.
- El factor de servicio para las unidades de Destilación Primaria, Destilación al Vacío y Craqueo Catalítico a considerar son 0.96, 0.97 y 0.98 respectivamente.
- El periodo calculado es para un año de operación.

En las Tabla N° 10.1 se presenta el cálculo de los beneficios económicos generados y en la Tabla N° 10.2 se muestra el flujo de caja respectivo.

TABLA N° 10.1

1.- ESTIMADO DE BENEFICIOS:

1.1 INCREMENTO DE CARGA EN UDV

Incremental de carga en UDV	2	MBPD
Carga real promedio Ene/Dic. 2007 de UDV	27.00	MBPD
Balance Económico UDV año 2006.	2	US\$ / BL
Factor de Servicio	0.97	
Periodo	30	días/año
Beneficio	3,142.8	MUS\$/Año

1.2 INCREMENTO DE CARGA EN FCC

Incremental de carga en FCC	2.5	MBPD
Carga real promedio Ene/Dic. 2007 de FCC	18.50	MBPD
Balance Económico FCC año 2006 .	3	US\$ / BL
Factor de Servicio	0.9811	
Periodo	30	días/año
Beneficio	4,083.8	MUS\$/Año

1.3 INCREMENTO DE CARGA EN UDP

Incremental de carga en UDP	1	MBPD
Carga real promedio Ene/Dic. 2007 de UDP	63.50	MBPD
Balance Económico UDP año 2006 .	1.6	US\$ / BL
Factor de Servicio	0.96	
Periodo	30	días/año
Beneficio	2,926.1	MUS\$/Año

Beneficio por Incremento de Carga en Unidades de Proceso	10152.7	MUS\$/Año
---	----------------	------------------

BENEFICIO TOTAL QUE BRINDA EL PROYECTO:	10,152.7	MUS\$/Año
--	-----------------	------------------

TABLA N° 10.2

"REEMPLAZO DE EQUIPOS DURANTE LA REPARACION GENERAL DE LA UNIDAD DE VACIO"

EVALUACION ECONOMICA

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	1740.3										
Ingresos											
1. Por incremento de carga en UDV		3142.8	3142.8	3142.8	3142.8	3142.8	3142.8	3142.8	3142.8	3142.8	3142.8
2. Por incremento de carga en FCC		4083.8	4083.8	4083.8	4083.8	4083.8	4083.8	4083.8	4083.8	4083.8	4083.8
3. Por incremento de carga en UDP		2926.1	2926.1	2926.1	2926.1	2926.1	2926.1	2926.1	2926.1	2926.1	2926.1
4. Valor de rescate											174.0
Total ingresos, MUS\$		10152.7	10152.7	10152.7	10152.7	10152.7	10152.7	10152.7	10152.7	10152.7	10326.7
Depreciación		174.0	174.0	174.0	174.0	174.0	174.0	174.0	174.0	174.0	174.0
Costos de operación y mantenimiento, 3% Invers.		52.2	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2
Utilidad bruta		9926.5	9926.5	9926.5	9926.5	9926.5	9926.5	9926.5	9926.5	9926.5	10100.5
Utilidad al personal (10%)		992.6	992.6	992.6	992.6	992.6	992.6	992.6	992.6	992.6	1010.0
Utilidad antes de impuestos		8933.8	8933.8	8933.8	8933.8	8933.8	8933.8	8933.8	8933.8	8933.8	9090.4
Impuestos (30%)		2680.1	2680.1	2680.1	2680.1	2680.1	2680.1	2680.1	2680.1	2680.1	2727.1
Utilidad despues de impuestos		6253.7	6253.7	6253.7	6253.7	6253.7	6253.7	6253.7	6253.7	6253.7	6363.3
'Flujo de fondos, MUS\$	-1740.3	6427.7	6427.7	6427.7	6427.7	6427.7	6427.7	6427.7	6427.7	6427.7	6537.3

Valor Actual Neto VAN (15%), MUS\$	30545.97
Tasa Interna de retorno TIR, %	369.34
Periodo de Recuperación PAY OUT, años	0.31

Inversión Desagregada:	MUS\$
1, Zona Convectiva Horno V-H1	655.3
2, Válvula de Control V-FR-43	50
3, Válvula de Control V-FRCAL-4/5/6/7	35
4, Reemplazo Refractario en Zona Radiante	900
4, Imprevistos	100
Total Inversión	1740.3

11. RESULTADOS

Los aspectos más importantes encontrados luego de la experiencia realizada en la Unidad de Vacío se describe a continuación.

La calidad del Gasóleo Liviano de Vacío, cumple las especificaciones del Diesel, característica que permite seguir aportando como uno de los componentes para la formulación de dicho producto. Se debe remarcar que para una carga liviana, constituida enteramente por Residual Atmosférico correspondiente al Crudo Talara, el contenido de Azufre es de 0.4-0.5 % masa; mientras que para una mezcla de crudos con el aporte del 50% de Crudo Talara, el valor de azufre es de 2.0 -3.0 % masa.

El Gasóleo Pesado de Vacío, que constituye la carga para la Unidad de Craqueo Catalítico, tiene una variación en la gravedad, desde 25.0 hasta 23.5 ° API, resaltando el incremento en la contaminación metálica, desde un valor de 2.17 ppm. hasta 4- 4.5 ppm. de Níquel mas Vanadio, que proviene de procesar 100% de Residual Atmosférico de Crudo Talara y 50 % de Crudo Pesado; esta situación obliga a reorientar el manejo de catalizador y adecuar las condiciones operativas, buscando los rendimientos adecuados para mantener o mejorar los resultados económicos.

Los rendimientos volumétricos de GOL disminuyen desde 16.0 % hasta 8.0 % y los que corresponden al GOP, desde 63.0 % hasta 52 %, sin embargo este decremento es parcialmente compensado al conseguir un aumento en la carga procesada en la unidad. El carga incrementada se encuentra en el rango de 26.0-28.0 MBPD, lo que significa un diferencial con respecto a la de diseño de 6.0-8.0 MBPD. Este esquema es justificado en razón a un crudo pesado que contiene un menor contenido de gasóleos.

El dimensionamiento de la torre de vacío, para las nuevas cargas de 26.0-28.0 MBPD, se caracteriza porque es posible manejar los vapores que ascienden a la zona de GOL para el caso de un Residual Atmosférico

Liviano, que es el caso crítico y para el caso de Residual Atmosférico Pesado está ampliamente garantizado.

La zona de Gasóleo Pesado, es decir la de mayor diámetro, cumple los requerimientos tanto para Residual Atmosférico Liviano y Pesado.

La zona de Fondos, que define fundamentalmente el tiempo de residencia del hidrocarburo líquido, obliga a redimensionar la boquilla de salida, los diámetros de la tubería de succión de las bombas de fondos; así como las bombas de fondos para otorgar una mejor estabilidad a la operación.

En relación a la operación del horno VH-1 y el sistema de precalentamiento de la carga, luego de las modificaciones, han permitido lograr una temperatura de ingreso al horno en el rango de 505-510° F, a consecuencia de un incremento en el flujo de fondos y la carga térmica aprovechable, valores muy importantes que favorecen la performance del horno. La carga calórica del horno para una carga liviana y pesada es de 88 y 77 MMBTU/Hr respectivamente; y una eficiencia de 78 y 83 %.

La evaluación económica de la inversión ejecutada, que asciende a 1740 MUS\$; da como resultado una recuperación del capital en el periodo de cuatro (4) meses, lo que indica su alta rentabilidad. En esta evaluación económica se ha incluido el total de modificaciones planteadas.

En las Tablas 11.1, 11.2, 11.3, 11.4 y 11.5 se indican características de calidad y condiciones de operación registradas.

TABLA 11.1
CALIDAD DE PRODUCTOS – PROCESAMIENTO DE CARGA LIVIANA

ANALISIS		CARGA UDP	CARGA UDV	GASOLEO LIVIANO	GASOLEO PESADO	SLOP WAX	FONDOS
Gravedad	API	35.3	22.6	31.7	24.7	17.7	11.4
Pto. Inflamación	°F	-	-	208	-	-	-
Visc. Cinematica a 40°C	cst	4.34	178.2	6.59	70.7	-	-
Visc. Cinematica a 50°C	cst	3.50	79.4	4.30	42.7	-	12,456.0
Visc. Cinematica a 100°C	cst		26.5	1.90	8.67	72.0	256.0
Color ASTM			-	1.5	-	-	-
Contenido de sales	Lb / MB	6.5	2.3	5.0	-	-	-
Niquel	ppm	1.0	2.2	2.2	0.21	2.80	6.7
Vanadio	ppm	1.7	3.7	3.7	0.30	4.20	8.5
Sodio	ppm	1.5	3.60	-	1.10	5.10	7.0
Azufre Total	%masa	0.08	0.17	0.03	0.12	0.30	0.37
Penetración a 77°F	1 / 10 mm	-	-	-	-	-	-
Pto. Ablandamiento	°C	-	-	-	-	-	-
Destilación ASTM	°C					-	-
P.I.E.		197	250	244	240	-	-
50%		447	445	301	442	-	-
90%		493	504	340	504	-	-
P.F.E.		-	-	374	-	-	-
Rec. A 675°F				94.0			

TABLA 11.2
CALIDAD DE PRODUCTOS – PROCESAMIENTO DE CARGA PESADA

ANALISIS		CARGA UDP	CARGA UDV	GASOLEO LIVIANO	GASOLEO PESADO	SLOP WAX	FONDOS
Gravedad	API	29	17.3	30.1	23.2	15.1	8.5
Pto. Inflamación	° C	-	130	116	230	284	305
Visc. Cinem. a 37.8° C	Cst	14.8	1046	6.8	120	-	-
Visc. Cinem. a 50° C	Cst	10.8	422	2.1	51	-	-
Visc. Cinem. a 100° C	Cst	-	37	1.4	8.8	42.6	5,059
Color ASTM		-	-	1.5	-	-	-
Contenido de sales	Lb/MB	6.5	5.2	-	-	-	-
Niquel	ppm	27	53	-	3.2	-	101
Vanadio	ppm	74	149	-	0.80	-	309
Sodio	ppm	4	8.8	-	0.60	-	8.3
Azufre Total	%/masa	0.65	0.97	0.42	0.60	0.99	1.52
Penetración a 25° C	1/10mm	-	-	-	-	-	52
Pto. Ablandamiento	° C	-	-	-	-	-	-
Destilación ASTM	° C						
P.I.E.		-	166	251	173	-	-
50%		-	424	310	333	-	-
90%		-	-	358	400	-	-
P.F.E.		-	-	382	-	-	-

TABLA 11.3**PERFORMANCE DEL HORNO VH-1**

DESCRIPCION	UNIDADES	CARGA LIVIANA	CARGA PESADA
Carga	BPD	26,578	28,090
% Exceso Aire	%	33.0	2.5
T. Chimenea	° F	840	808
T. Entrada al Horno	° F	487	511
T. Entrada del Horno	° F	745	725
Carga Calórica VH-1	MMBTU/Hr.	88.0	76.0
Calor Liberado por Quemadores	MMBTU/Hr.	113.6	113.6
Consumo de Gas-Combustible	MMSCF/D	2.45	2.42
Poder Calórico Gas-Combustible	BTU/pie ³	1,100	970
Densidad Radiante	BTU/Hr. pie ²	10,580	11,300
Densidad Convectiva	BTU/Hr. pie ²	6,276	6,250
% Eficiencia del Horno	%	78.0	83.0
VELOCIDAD MÁSCA:			
• Entrada al Horno	Lbm/ pie ² -seg	360	410
• Salida del Horno	Lbm/ pie ² -seg	74	96

TABLA N° 11.4

PARAMETRO DE DISEÑO PARA HORNO VH-1

DESCRIPCION	UNIDAD	VALORES
		96.5
MÁXIMA CARGA CALÓRICA		
• Exceso de Aire	%	30
• Temp. Chimenea	° F	840
• Eficiencia del Horno	%	78
Densidad Radiante	BTU/Hr. pie ²	8,000 - 12,000
Máximo Calor Liberado por Quemador	MM BTU/Hr.	4.64
Calor Total Liberado 28 Quemadores	MM BTU/Hr.	123.7
VELOCIDADES MASICAS		
• Entrada al Horno	Lb/ pie ² -seg	250 – 350
• Salida del Horno	Lb/ pie ² -seg	60 – 100

TABLA N° 11.5**PERFORMANCE DE LA COLUMNA DE VACIO V-V1**

DESCRIPCION	Carga Liviana				Carga Pesada			
	API	KUOP	BPD	% VOL	API	KUOP	BPD	% VOL
Crudo Reducido	22.0	12.0	26,580	100.0	17.5	11.8	28.0	100.0
GAS								
GOL	31.0		4,240	16.0	30.1		2,158	7.7
GOP	24.5		16,695	63.0	23.2		14,563	51.8
S. Wax	16.0		928	3.5	15.1		380	1.3
Fondos	10.0		4,637	17.5	8.5		11,008	39.8
PERFIL DE TEMPERATURAS								
DESCRIPCION	TEMPERATURAS ° F				TEMPERATURAS ° F			
Tope	92.0				137.0			
Plato GOL	245.0				288.0			
Plato GOP	525.0				508.0			
Platos S. Wax	705.0				679.0			
Fondos	687.0				700.0			
Z. Flash	725.0				706.0			
DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE								
	Carga Liviana 26.5 MBPD				Valores de diseño: Diametro(pies)			
Zona Flash	15.5				20			
Zona G. Pesado	18.9				20			
Zona G. Liviano	10.0				10			

12. DISCUSION DE RESULTADOS

12.1. Comentario al respecto del performance del horno VH-1.-

La carga calórica del horno para la evaluación de la carga liviana y pesada fueron 88 y 78 MM BTU/Hr. respectivamente lo cual indica que no se superó el máximo valor calculado.

En referencia al procesamiento de carga liviana.-

Los factores que repercutieron para lograr esos resultados fue el incremento de la temperatura de la carga al ingreso del primer intercambiador VE-1 (Carga vs. Gasóleo pesado) hasta un valor de 345° F que es superior a 300° F que es el valor indicado en el diseño de procesos.

La temperatura de ingreso de la carga al horno, luego de su precalentamiento en el tren de intercambiadores de calor se registro en 487° F; lo que significa un incremento total de temperatura de 142° F. Esta ganancia térmica es el resultado de un manejo operativo de la temperatura de salida del horno en 745° F; lo que incremento el perfil térmico del sistema de fondos (Crudo Reducido de Vacío).

La densidad de la zona radiante del horno registro un valor de 10,580 MM BTU/Hr. valor que está comprendido en el rango de diseño (8 a 12 MM BTU/Hr.), la densidad de la zona conveccional tiene un valor de 6,276 MM BTU/Hr. que no ha sido mayormente influenciado porque la temperatura de salida de gases de la chimenea del horno se mantuvo en 840°- 845° F.

En relación a la velocidad másica de la carga en el horno; se consiguió los estimados de 360 y 74 lbm/pie²-seg. para la entrada y salida del horno respectivamente. Estos registros están comprendidos en el rango del valor de diseño recomendado (250-350 lbm/pie²-seg. y 60-100 lbm/pie²-seg.). La eficiencia del horno como resultado de las variables operativas tiene un valor de 78% el cual se considera apropiado.

En referencia al procesamiento de carga pesada.-

Los factores que favorecieron la carga calórica encontrada fue el incremento en el precalentamiento de 166° F logrado entre el ingreso al primer intercambiador y el ingreso al horno VH-1, lo que se refleja en una temperatura de ingreso al horno de 511° F. Cabe resaltar que la temperatura de salida de los fondos de la torre (Crudo Reducido de Vacío) se estableció en 700° F, lo cual es un aporte importante en el perfil térmico. El cambio de servicio del intercambiador VE-1 de Gasóleo Pesado vs. Carga a Fondos de Vacío vs. Carga; permitió adicionar un intercambiador con un área de transferencia de 1,217 pies², que aprovecha el calor de la corriente más caliente del sistema (Fondos de Vacío). Esta mejora favoreció a una buena performance del horno y como resultado un incremento de carga a 28 MBPD.

La densidad de la zona radiante del horno registro un valor de 11,300 MM BTU/Hr. valor que está comprendido en el rango de diseño (8 a 12 MM BTU/Hr.), la densidad de la zona conveccional tiene un valor de 6,250 MM BTU/Hr. que no ha sido mayormente influenciado porque la temperatura de salida de gases de la chimenea del horno se registro en 808° - 810° F.

En relación a la velocidad másica de la carga en el horno; se consiguió los estimados de 410 y 96 lbm/pie²-seg. para la entrada y salida del horno respectivamente. La velocidad másica de entrada al horno es superior al valor recomendado, en razón a que el régimen de carga experimentada corresponde a 28 MBPD; sin embargo la velocidad másica de salida es ligeramente menor al parámetro especificado, lo que le da consistencia a la operación del horno. Es necesario precisar que el circuito de la zona radiante del horno, tiene una variación de diámetro desde 4.5 hasta 8.0 pulg, expansión que balancea la hidráulica en los tubos del horno.

En la TABLA N° 11.3. y TABLA N° 11.4 se muestran datos comparativos de referencia.

12.2. Performance de la Torre V-V1

Para el caso de carga liviana.-

El parámetro a cuidar y conservar es el flujo de vapores que ascienden al tope de la torre; especialmente en la zona de Gasóleo Liviano. El cálculo realizado de los diámetros con flujos reales en las zonas: Flash, Gasóleo Pesado y Gasóleo Liviano tienen los diámetros 15.5, 18.9 y 10 pies respectivamente, los cuales son menores en los dos primeros casos e igual para el caso de la zona de Gasóleo Liviano. Esto quiere decir que el máximo flujo corresponde a 4,240 BPD (16%) y constituye el parámetro que se debe tener cuidado en la gestión operativa.

Con respecto a la zona Flash, es evidente que existe un margen de 22.5% que es posible usar al experimentar con mayores regímenes de carga.

Para el caso de carga pesada.-

Los flujos registrados son menores a la carga liviana en lo que corresponde a Gasóleo Liviano, Gasóleo Pesado y Slop Wax lo que garantiza que el dimensionamiento de la torre de la columna V-V1 satisface las condiciones de diseño. Sin embargo, el flujo de fondos es de 11,008 BPD (39.2%) lo cual es superior al correspondiente de la Carga Liviana 4,637 BPD (17.5%). Esta situación es una oportunidad de mejora que obliga a instalar una nueva bomba de fondos de acuerdo a los requerimientos; por lo que se adquirió la nueva bomba VP-2C que permitiría cubrir el flujo trabajando en paralelo con la bomba VP-2A.

En relación a perfil de temperaturas a controlar operativamente en la columna de destilación, las condiciones para la carga liviana son más severas que para la carga pesada, en razón a que se requiere vaporizar un valor volumen de hidrocarburos; sin embargo son temperaturas que no afectan las condiciones de diseño. Este esquema se refleja en temperaturas

de la zona flash de 725 °F para la Carga Liviana , mientras que para la carga pesada fue de 706 °F.

En la TABLA N° 11.5 se muestran datos comparativos de referencia.

13. CONCLUSIONES

13.1. Evaluación de una carga liviana de 22-23 de gravedad ° API.-

La evaluación experimental de la Unidad de Vacío para un régimen de carga de 26.0 MBPD, realizada para el procesamiento de crudo reducido atmosférico de 22-23° API, que provienen de la Unidad de Destilación Atmosférica que procesa crudo de 33-34° API, ha permitido definir que reúne las características para procesar un incremento de carga de 33%, y para hacerla sostenida es necesaria algunas modificaciones de rápida realización.

13.2. Evaluación de una carga de pesada de 16-17 de gravedad °API.-

La evaluación realizada con un régimen de carga de 28.0 MBPD, para un crudo reducido de 16-17° API, que proviene de la Unidad de Destilación Atmosférica que procesa crudo de 28-29° API, permite visualizar que la infraestructura de la Unidad de Vacío satisface las exigencias de un incremento de carga de 35%, con un mejor precalentamiento conseguido en el rango de 475-500° F y bombas de crudo reducido de vacío con mayor capacidad y potencia.

13.3. Evaluación del tiempo de residencia del sistema de fondos.-

Por la importancia del tiempo de residencia en el posible craqueo térmico y el nivel de fondos en la torre, se debe precisar que para una carga de 26.0 MBPD de Crudo Reducido Atmosférico de 22-23 ° API y un flujo de fondos de 167- 177 GPM el tiempo de residencia es de 1.1 a 1.2 minutos/pie, valores que son similares al parámetro recomendado. Al respecto es propicio reconocer que se utilizaron las bombas originales.

Para el caso de una carga de Crudo Reducido Atmosférico de 16-17 °API y un flujo de fondos de 200-220 GPM, el tiempo de residencia es de 0.6-0.8 minutos/pie. Al respecto el valor recomendado oscila en el

rango de 0.5-1.0 minutos /pie. Esta respuesta se debe a la acción de reemplazo y uso de la nueva bomba VP-2C.

13.4. Importancia de los conocimientos adquiridos en la Universidad.-

Los conocimientos básicos asimilados en la universidad son fundamentales para emprender los diferentes proyectos a desarrollar en el ámbito industrial. Todos los cursos son importantes en la medida que tenemos la oportunidad de aplicarlos.

Para complementar nuestra formación, es indispensable tomar conocimiento de:

El tipo de tecnología/ diseño aplicado.	1960-1970
El periodo/año de su implementación.	1974
Puesta en marcha y sus particularidades.	1975
El avance de la tecnología en función del tiempo.	1970-2009

Este escenario, significa que tener conocimiento de las consideraciones de diseño utilizadas por las compañías licenciadoras, pueden utilizarse para redimensionar con éxito plantas como las que nos ocupa.

14. RECOMENDACIONES.

La evaluación desarrollada, ha permitido identificar limitaciones importantes que debían superarse y ratificar algunas bondades, las que resumen en los siguientes puntos:

14.1. Posibilidad de Incremento de carga.-

Evaluar el procesamiento de cargas hasta 29-30 MBPD, teniendo en cuenta que existe un margen (22.5 %) de diseño del diámetro de la zona flash de la torre VV-1 de la Unidad de Vacío. La carga a experimentar debe mantener un rango de 19-20° API. En línea con este rubro, aprovechar la carga calórica (88 MMBTU/ ft²), para flexibilizar la operación de acuerdo a los requerimientos del plan de producción.

14.2. Precalentamiento de la carga.-

Mejorar el precalentamiento de la carga a la UDV previo a su ingreso al horno, para aprovechar la carga calórica disponible en el circuito de crudo reducido de vacío, que favorecería un incremento de carga hasta 29-30 MBPD, con la misma carga calórica del horno. Esta acción favorecería también una menor temperatura de almacenamiento del Crudo Reducido de Vacío, buscando eliminar condiciones de riesgo inherentes.

14.3. Transferencia de carga del horno VH-1 a la torre VV-1.-

Evaluar la posibilidad de mejora en el diámetro y la flexibilidad de la tubería de transferencia del horno VH-1 hacia la torre VV-1. Es necesario tomar en cuenta esta recomendación, teniendo en cuenta que se ha superado la condición de diseño original.

14.4. Dispositivo de Separación líquido vapor en al zona flash.-

Evaluar la alternativa de implementar un distribuidor de carga de tecnología superior, a fin favorecer una mejor separación líquido – vapores en la zona flash. Una mejor eficiencia del separador permitiría evitar arrastre de hidrocarburos pesados a la zona de Gasóleo Pesado y consecuentemente menor presencia de metales como el Ni y V, que sería muy beneficioso para la carga a la Unidad de Craqueo Catalítico.

14.5. Proyección de la experiencia en la Formación Académica.-

Teniendo en cuenta que la experiencia responde a un escenario real de la disminución de crudo de buena calidad, materia prima para la Refinería Talara, constituye un claro ejemplo de enfoque de adecuación y búsqueda de las bondades de una refinería diseñada para un crudo liviano (34° - 36° API), a fin de procesar crudos pesados (24° - 26° API) y con alto contenido de contaminantes. Debemos tener presente, que el diseño de las refinerías, responde a la economía de la época y al avance de la tecnología (1970-1975), los márgenes de diseño aplicados, constituyen un factor importante para establecer modificaciones con el propósito de incrementar la capacidad de diseño especificada.

La declinación de crudos livianos y la aparición de crudos pesados de menor costo, es una tendencia mundial, que deben enfrentar las refinerías, por lo tanto un incentivo para buscar alternativas de solución viables y con inversiones de pequeña escala.

Ante esta situación, uno de los caminos es realizar la identificación de las limitaciones en las principales unidades, ejecutando pruebas reales en planta y planteando modificaciones viables sin afectar el factor de servicio de las plantas y buscando la continuidad de la producción a fin de garantizar el margen de ganancia del negocio.

Una de las tareas mas importantes es la revisión de las publicaciones relacionados con temas y experiencias similares, pues presentan experiencias de muchas refinerías y desarrolladas por compañías especializadas en diseño de procesos, construcción y pruebas de garantía luego de los rediseños; así tenemos las revistas: Chemical Engineering, Oil & Gas Journal, Hydrocarbon Processing, HydrocarbonEngineering, National Petroleum Refinery Association(NPRA), Chemical Engineering Progress.

Las herramientas para comprender la problemática son los cursos de Fisicoquímica, Balance de Materia y Energía, así como Transferencia de Masa y Calor. El soporte para las evaluaciones económicas indudablemente es el curso de Ingeniería Económica. Es oportuno precisar que una formación básica para el profesional orientado en la refinación del petróleo, exige asignaturas relativas a destilación de atmosférica y al vacío, como parte importante de su formación.

Se sugiere orientar la formación académica del futuro profesional a requerimientos actuales de la industria y las reglamentaciones gubernamentales:

Plan de Adecuación Ambiental.	Emisiones, Efluentes
Análisis por Instrumentación.	Electrónica aplicada
Sistemas de Gestión Ambiental	ISO 14001,9001

El avance de la tecnología, es una oportunidad para incluir en la currícula , conocimientos básicos de:

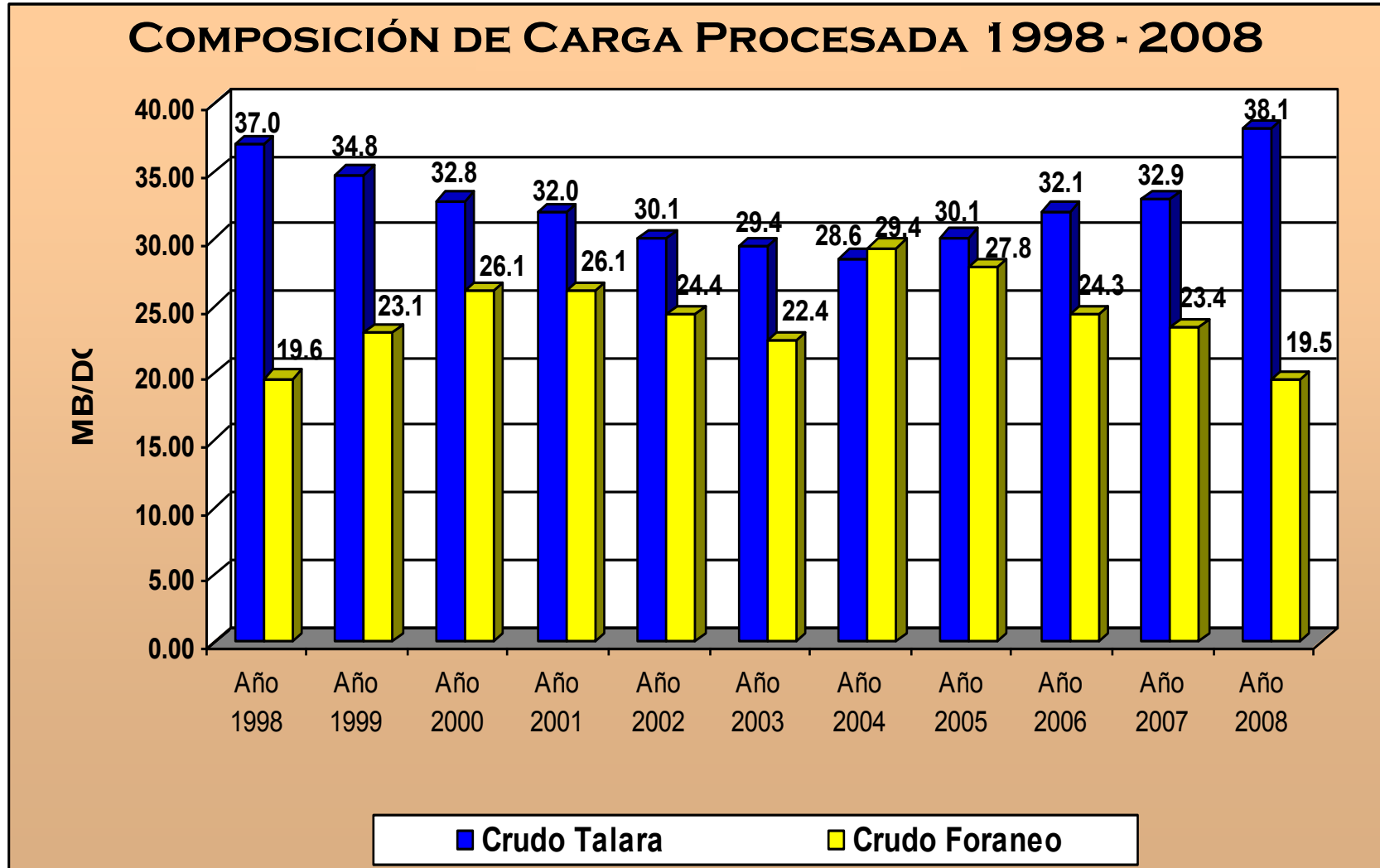
Control de Procesos e Instrumentación	DCS, ACP
Electricidad Industrial	Calidad de energía.
Simulación de Procesos	Software

15. BIBLIOGRAFIA.

1. Especificaciones de Procesos.- Horno VH-1.- Universal Oil Products.
2. Especificaciones de Procesos.- Columna de Destilación al Vacío VV-1.- Universal Oil Products.
3. Balance de Materia y Energía Unidad de Vacío.- Diseño de Procesos.- Universal Oil Products.
4. R. N. Winpress, C. F. Braun & Company: "Rating Fired Heaters"
5. Hydrocarbon Processing & Petroleum Refiner.- October 1963, Vol 42, N° 10; pag 115-126.
6. Dimensionamiento de Torres de Vacío.- Seminario de Diseño de Procesos.- Primavera de 1984.- Universal Oil Products.
7. K. Nangia, D. Shulte, A. Goelzer, "Design and Revamp Vacuum Units for Maximum Return", Hydrocarbon Engineering, February 2000,pag 39-44.
8. Especificación de Procesos .- Intercambiadores de Calor Unidad de Vacío.- Universal Oil Products.
9. Worthington Pump Performance Catalog.-
10. Herbert L. Berman, Caltex Petroleum Corp." Finding the basic design for your application", Chemical Engineering, June 19, 1978; pag 99-104.
11. A. Garg, Furnace Improvements, "Revamp fired heaters to increase capacity", Hydrocarbon Processing, June 1998; pag 67-80.
12. Ashutosh Garg, Furnace Improvements, "Optimize Fired Heaters Operation to Save Money", Hydrocarbon Processing, June 1997, pag 97-104.
13. S. W. Golden, Glitsh Inc; N.P. Lieberman, Process Improvement Engineering; "Troubleshoot vacuum columns with low-capital methods", Hydrocarbon processing, July 1993, pag 61-89.
14. Scott W. Golden; Andrew Sloley, Glitsh Inc, "Simple methods solve vacuum column problems using plant data", Oil & Gas Journal, Sept 14,1992. pag 74-79.

ANEXO Nº 1

16. ANEXO



Rendimiento en unidades de procesos y proyecciones de carga

Unidad de Destilación Primaria	
Gas	0.3
Nafta Liviana	12.8
Solvente 1	0.4
Nafta Pesada	1.9
Solvente 3	0.5
Kerosene	14.6
Turbo A-1	3.6
Diesel 2	16.0
Crudo Reducido	47.8
Pérdida	2.1
Total	100.0

Unidad de Destilación al Vacío	
Gasóleo Liviano	7.4
Gasóleo Pesado	49.6
Slop Wax	1.5
Residual de Vacío	40.4
B.A. 60/70	0.7
Pérdida	0.5
Total	100.0

Unidad de Craqueo Catalítico	
Gas Seco	4.1
Propano	13.4
Butano	14.7
Nafta Craqueada	53.9
Cíclico Ligero	12.6
Cíclico Pesado	0.0
Aceite Clarificado	10.4
Pérdida (Ganancia)	(9.2)
Total	100.0

Incremento

UDP: 62.00 MBD x 0.478 = 29.6 MBD

UDV: 20.00 MBD x 0.496 = 9.9 MBD

UDV: 26.00 MBD x 0.496 = 12.9 MBD

UDV: 30.00 MBD x 0.496 = 14.9 MBD

Base

3.0

5.0

