

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

PEMEX REFINACIÓN. Ref. "Ing. Antonio Dovalí Jaime"



Evaluación para la integración de un segundo calentador de carga a la sección de reacción de la unidad Hidrodesulfuradora de Naftas II de la Refinería "Ing. Antonio Dovalí Jaime".

Residente: Ivonne Berenice Martínez Flores.

 **Asesor interno:** Ing. José Luis Escobar Villagran

 **Asesor externo:** Ing. Mariano Aragón Sibaja

 **Revisores:**

Ing. Wilbert Morgan Blanco Carrillo

Ing. Marco Antonio Mazariegos Morales

Salina Cruz, Oaxaca a 27 de Mayo de 2011

CONTENIDO

I.	Introducción	.....	1
II.	Justificación	.....	3
III.	Objetivos	.....	4
IV.	Caracterización del área en que participó	.....	5
V.	Problemas a resolver	.....	21
VI.	Alcances y limitaciones	.....	21
VII.	Fundamento teórico	.....	22
VIII.	Materiales y métodos	.....	40
IX.	Procedimiento y Descripción de las actividades realizadas	.....	43
X.	Resultados	.....	51
XI.	Anexos	.....	58
XII.	Conclusiones	.....	61
	Bibliografía		

I.- INTRODUCCIÓN

La refinación es el conjunto de procesos físicos y químicos a los que se somete el crudo para obtener de él los diversos productos petrolíferos para propósitos específicos con propiedades físicas y químicas bien definidas.

El petróleo crudo está formado por varios hidrocarburos que comprenden desde el gas combustible hasta el asfalto. Su separación en columnas de destilación se realiza por las diferencias de volatilidad que tienen unos de otros. El procedimiento utilizado consiste en calentar petróleo crudo a una temperatura en que los componentes más ligeros se evaporan para ser enseguida condensados. Esta condensación se efectúa a diferentes temperaturas debido a que los hidrocarburos más volátiles se condensan a menor temperatura que los menos volátiles.

.Con el objetivo de elaborar los productos petrolíferos que cubran parte de la demanda nacional en base a las necesidades de consumo, además de realizar la exportación de crudo y destilados por las costas mexicanas del litoral del Pacífico, Petróleos Mexicanos proyectó la construcción de la Refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”, la cual inicio sus operaciones en el mes de abril de 1979, y desde entonces ha sido un centro de refinación en constante crecimiento como lo marca la cronología de sus operaciones.

A partir de la puesta en operación de la refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”, ésta ha registrado un constante crecimiento que la ubica como la más grande del sistema petrolero de refinación en el contexto nacional, con capacidad para procesar 330,000 BPD de crudo.

De la energía consumida en procesos químicos típicos y en plantas de refinación de petróleo, aproximadamente el 75% es proporcionada por el quemado de hidrocarburos combustibles en los calentadores a fuego directo.

La función de un calentador a fuego directo es suministrar una cantidad específica de calor, a niveles de temperatura elevados, al fluido que se desea calentar. Esto debe realizarse sin que se presenten sobrecalentamientos del fluido o de los componentes estructurales del equipo¹.





Por esta razón es necesario que se optimice energéticamente en su operación, lo cual conseguirá disminuir los consumos energéticos y obtener ahorros económicos, así como incremento en su vida útil.

La Presente investigación se realizará en la Planta Hidros Reformadora No.II que es un conjunto de 7 unidades, siendo la Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas No.II la de interés.

El objetivo de ésta unidad es eliminar los compuestos de azufre y nitrógeno fundamentalmente, contenidos en la gasolina amarga, mediante la reacción de hidrogenación en un reactor catalítico de lecho fijo, dentro del proceso de la unidad se operan calentadores a fuego directo, denominados como: BA-401, BA-402, BA-403 y BA-404.

Debido a que el calor absorbido por la corriente del proceso en el BA-401 está por encima del valor máximo especificado por diseño, se realizará una evaluación de la integración del calentador BA-403 para que junto con el calentador BA-401 calienten la carga a la sección de reacción, la presente evaluación se realizará en un simulador de procesos (Hysys) obteniendo como resultado si es conveniente añadir dicho calentador para ayudar al BA-401 a minimizar su energía requería haciéndolo más eficiente y así incrementar la vida útil de los tubos de los serpentines.

1. *Diseño de equipos e instalaciones. Tema 8, Hornos y Calderas.*





II.- JUSTIFICACIÓN

La orientación de este proyecto va enfocado a la solución de los problemas que se han venido manifestando en el calentador a fuego directo (CAFD) BA-401 ocasionando paros no programados en la Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas No.2. Los calentadores a fuego directo son de los equipos principales en instalaciones industriales, debido a que estos suministran grandes cargas térmicas requeridas en los procesos, para suministrar esta energía utilizan altos consumos de combustible líquido y/o gaseoso, trayendo como consecuencia que los calentadores a fuego directo sean uno de los equipos con mayor consumo de energéticos dentro de las plantas industriales.

Las razones por las cuales se llevará a cabo la evaluación de la integración de un segundo calentador a la sección de reacción son:

Existe una diferencia por encima de la máxima de diseño entre las temperaturas de entrada y salida de dicho calentador, a medida que la temperatura de salida es alta se disminuye la eficiencia del calentador, manifestándose con un elevado suministro de carga térmica o Duty con respecto al valor de diseño, afectando los refractarios. Las altas temperaturas que se manejan en el calentador originan cambios en la microestructura de la aleación, promoviendo además la oxidación, carburización, grafitización del material.

La importancia de esta evaluación es la optimización del calentador a fuego directo BA-401, al igual que la optimización energética de su operación, lo cual conseguirá disminuir los consumos energéticos y obtener ahorros económicos, así como incremento en su vida útil.



III.- OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Formular una propuesta de mejora para la optimización de la operación del Calentador a Fuego Directo BA-401 basada en la integración del rehervidor de fondos de la sección de fraccionamiento a la sección de reacción de la Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas II.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Identificar las condiciones normales de operación de los calentadores BA-401 y BA-403 en las hojas técnicas de diseño.
- ❖ Disminuir la severidad en el calentador BA-401, realizando una simulación en Hysys e identificando los cambios en su Duty.
- ❖ Calcular las cargas térmicas de los calentadores a fuego directo BA-401, BA-403 y BA-404 en condiciones actuales de operación.
- ❖ Calcular la eficiencia del Calentador a Fuego Directo BA-401 en condiciones actuales de operación.
- ❖ Evaluación térmica del CAFD BA-401.
- ❖ Disminuir los paros no programados en la Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas No 2 por fallas en el calentador BA-401.
- ❖ Lograr el funcionamiento energético óptimo del calentador BA-401 originando beneficios económicos, ambientales y operativos.



IV.- CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPÓ

Petróleos Mexicanos (PEMEX) es una paraestatal mexicana, que cuenta con un monopolio constitucional para la explotación de los recursos energéticos (principalmente petróleo y gas) en territorio mexicano, aunque también cuenta con diversas operaciones en el extranjero. PEMEX es la única empresa que puede explotar el petróleo en México.

Localización geográfica.

La Refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime” ocupa una superficie total de 600 hectáreas localizadas a cinco kilómetros al noreste de la ciudad y puerto de Salina Cruz, Oaxaca.

El municipio de Salina Cruz se ubica sobre la costa del Océano Pacífico, en una latitud Norte 16°09’30” y longitud Oeste 95°01’30”, y está catalogado como puerto de altura y de gran cabotaje.

Actualmente Salina Cruz cuenta con una población de 230,000 habitantes y es considerado como uno de los puertos más importantes del Pacífico mexicano y una de las ciudades con un brillante porvenir en el estado de Oaxaca.



Figura 1.-Localización de la Refinería

Recibo y distribución

El petróleo crudo que se extrae de los yacimientos localizados en los estados de Tabasco, Chiapas y la Sonda de Campeche, se concentra en la estación de recolección y bombeo, ubicada en Nuevo Teapa, Veracruz, parte de este crudo se envía a través de dos oleoductos de 30 y 48 pulgadas de diámetro, hasta nuestra refinería.



Figura 2.- Concentración de crudo en la Refinería Ing. “Antonio Dovalí Jaime”.

El crudo, sea para su procesamiento o para exportación, se almacena en tanques de 100, 200 y 500 mil barriles, cuyas características de diseño y seguridad garantizan el adecuado abastecimiento. Para el manejo de los hidrocarburos y productos, la refinería cuenta con una capacidad de 14 millones de barriles en 125 tanques, de los cuales 20 almacenan materias primas tales como crudo Istmo, Maya y sus mezclas, y metanol; 39 para productos intermedios como gasolina primaria, slop, base nova, querosina primaria, turbosina primaria, diesel primario, aceite cíclico ligero, gasóleos, residuos catalíticos, aceite recuperado; y 66 para productos finales: butano-butileno, propileno, gas LPG, gasolina Pemex Magna y Pemex Premium, turbosina, tractomex, Pemex Diesel, combustóleo, MTBE y TAME.



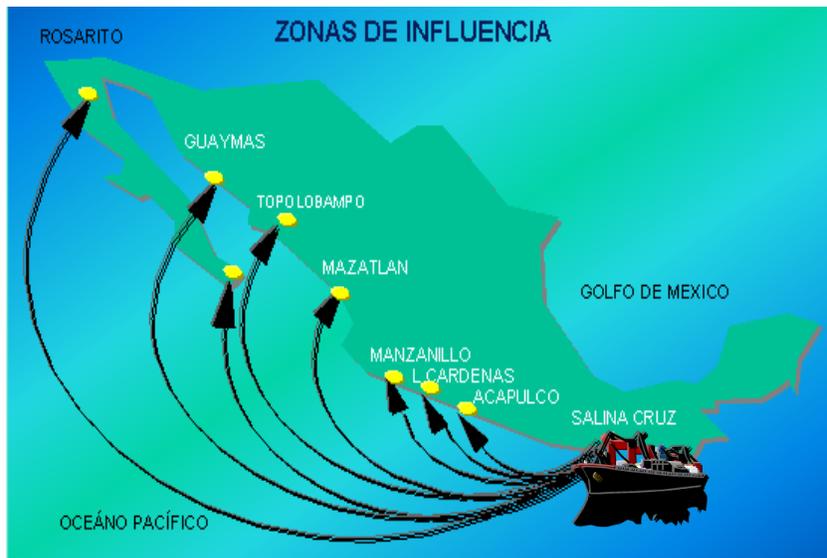


Figura 3.- Distribución del combustible por el pacífico por transportación marítima.

La distribución de los productos refinados se efectúa a través de la Terminal de Ventas Terrestre localizada en Salina Cruz, Oaxaca, la cual abastece la zona de influencia que conforman las agencias de ventas del estado de Oaxaca; las de Tuxtla Gutiérrez, Arriaga y Tapachula, en el estado de Chiapas; así como a los estados de Veracruz, Tabasco, Yucatán y México. Asimismo, resulta de mucha importancia la Terminal Marítima de Pemex - Refinación enclavada en la costa, aproximadamente a 10 km. de la refinería. Por esta Terminal y a través de buques-tanque se exporta el petróleo crudo y se transporta combustible a los estados mexicanos localizados en el litoral del Pacífico.

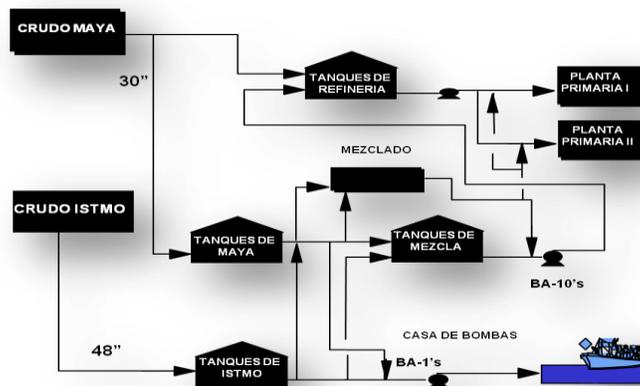


Figura 4.- Manejo de crudo para refinería y exportación



 **Descripción de la Planta Hidros Reformadora No.2**

Misión.-

Hidrodeshulfurar naftas, destilados intermedios, isomerizar pentanos y hexanos (C₅, C₆) y reformar la gasolina dulce con óptima calidad en la formulación de productos finales que demanda Pemex Refinación para cumplir con sus compromisos, apegados al marco que establece nuestra política del sistema integral de administración.

Visión.-

Los resultados en índices altos de ocupación y bajos índices de incidentes y accidentes son reflejos del alto sentido de responsabilidad hacia la seguridad, productividad, calidad y protección al medio ambiente y orgullo de los trabajadores del Sector Hidros II y de Pemex Refinación por contribuir al objetivo común de alcanzar el éxito.²

 **Función de las Plantas del Sector Hidros No. 2**

1.- Unidad Hidrodeshulfuradora de Naftas No.2 (U-400).

La planta se diseñó para preparar la carga a la unidad Reformadora de Naftas, mediante la eliminación de azufre, nitrógeno, oxígeno y algunos compuestos metálicos de las naftas ligeras provenientes de las plantas de Destilación Atmosférica. Se obtendrán también corrientes de hidrocarburos para tratarse y/o fraccionarse en otras plantas.³

2, 3.- Unidad Hidrodeshulfuradora de Destilados Intermedios No.3 y 4(U-700 y U-800).

Cada planta se diseñó para hidrodeshulfurizar cargas de turbosina y gasóleos provenientes de la planta de Destilación Atmosférica, obteniéndose como productos turbosina y diesel nacional desulfurado.⁴

4.- Unidad Reformadora de Naftas No.2 (U-500).

Esta unidad fue diseñada por el Instituto Mexicano del Petróleo, tiene una capacidad para procesar 30,000 BPD de nafta hidrodeshulfurada, proveniente de la Planta Hidrodeshulfuradora de Naftas.





La finalidad de la planta es aumentar el octanaje de la nafta desisohexanizada empleando el proceso de reformación catalítica y efectuar la estabilización mediante destilación fraccionada, obteniéndose como productos: nafta reformada y estabilizada, gas hidrógeno, LPG y gas combustible.⁵

5.- Unidad Regeneradora de Catalizador. (U-200).

Con la finalidad de incrementar la rentabilidad de la Unidad-500 se adiciono un quinto reactor con un proceso de regeneración continua de catalizador y la adición de un intercambiador de alta eficiencia de placas, con la finalidad de prolongar los ciclos de corrida del catalizador de la Reformadora.⁶

6.- Unidad Tratadora y Fraccionadora de Hidrocarburos No.2 (U-600).

La planta fue diseñada por el Instituto Mexicano del Petróleo, tiene una capacidad para procesar 261.36 mm³ std/d de gases amargos y 11063 BPD de hidrocarburos líquidos.

La función de la planta es: la separación del H₂S contenido en las corrientes gaseosas provenientes de las plantas Hidrodesulfuradoras de Naftas y Destilados Intermedios, eliminar el H₂S residual de la corriente de LPG proveniente de la sección de tratamiento con DEA de esta misma planta, eliminar los cloruros de la corriente de LPG de la Planta Reformadora de Naftas y el fraccionamiento de hidrocarburos provenientes de la sección de tratamiento cáustico y de la Planta Hidrodesulfuradora de Naftas.⁷

7.- Unidad Isomerizadora de Pentanos y Hexanos (U-900).-

La planta tiene una capacidad para procesar 15,000 BPD de una corriente consistente en una mezcla de pentanos y hexanos proveniente de las Unidades Hidrodesulfuradoras de Naftas Nos. 1 y 2 de la propia Refinería.⁸

2.- Documento descriptivo del Sector Hidros-Reformadora II

3.-Manual de datos de proceso de la Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas No.2 (U-400).

4.- Manual de datos de proceso de la Unidad Hidrodesulfuradora de Destilados Intermedios (U-700 y U-800).

5.- Manual de datos de proceso de la Unidad Reformadora de Naftas No.2 (U-500).

6.- Manual de datos de proceso de la Unidad Regeneradora de Catalizador. (U-200).

7.- Manual de datos de proceso de la Unidad Tratadora y Fraccionadora de Hidrocarburos No.2 (U-600).

8.- Manual de datos de proceso de la Unidad Isomerizadora de Pentanos y Hexanos (U-900).



 **Descripción general del proceso de Hidrodesulfuración**

La hidrodesulfuración es un proceso de refinación catalítica que utiliza un catalizador selectivo, en combinación con una corriente de gas rica en hidrógeno, para descomponer los compuestos de azufre, oxígeno, nitrógeno, cloruros y compuestos metálicos, así como para saturar las olefinas presentes en las gasolinas. Los metales se eliminan por fijación de los mismos sobre la superficie del catalizador.

También se elimina agua obteniéndose un producto seco y libre de impurezas. Todas estas mejoras en las gasolinas se logran con poca o ninguna pérdida del producto.

Para llevar a cabo lo anterior, la carga se mezcla con una corriente rica en hidrógeno proveniente de la planta reformadora, vaporizándose en el tren de precalentamiento y en el calentador a fuego directo antes de entrar al reactor. La hidrogenación se lleva a cabo a través de un lecho fijo de catalizador cuyos principios activos son Co-Mo.

Las reacciones que se efectúan son las siguientes:

- a) Saturación de olefinas con producción de parafinas y naftenos.
- b) Hidrogenación de los compuestos de azufre con producción de parafinas y H_2S .
- c) Hidrogenación de los compuestos de nitrógeno con producción de parafinas y amoníaco.
- d) Eliminación de oxígeno con producción de hidrocarburos y agua.

Las tres primeras reacciones son altamente exotérmicas. La hidrogenación se lleva a cabo en un reactor catalítico a una temperatura de aproximadamente 330 °C y bajo una presión de 28.3 Kg/cm² man.

El efluente del reactor se enfría y condensa. La separación de fases se efectúa en el separador de productos del reactor, del cual el gas rico en hidrógeno se recircula hacia la carga líquida y el excedente se envía como gas amargo a planta de tratamiento con DEA.

El líquido se envía a la sección de estabilización y fraccionamiento. De esta sección se obtendrán como productos las cuatro corrientes siguientes:

- a) Gas amargo
- b) Butanos





- c) Nafta hidrotratada
- d) Gasolina isohexanizada

La nafta hidrotratada constituye la carga a la planta reformadora y es el producto principal de esta unidad.⁹

9.- Manual de operación de la Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas II del Sector Hidros-Reformadora II.

Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas No.2 (U-400)

❖ GENERALIDADES.

Función de la planta.-

La planta se diseñó para preparar la carga a la unidad Reformadora de Naftas, mediante la eliminación de azufre, nitrógeno, oxígeno y algunos compuestos metálicos de las naftas ligeras provenientes de las plantas de Destilación Atmosférica. Se obtendrán también corrientes de hidrocarburos para tratarse y/o fraccionarse en otras plantas.

Tipo de proceso.-

El proceso consiste en la hidrogenación catalítica de los componentes sulfurados, nitrogenados y oxigenados, presentes en las naftas ligeras de destilación primaria.

Capacidad y Rendimiento.-

- La capacidad de diseño es de 36 600 BPD a 60⁰F
- La capacidad mínima de la planta es del 60% de la capacidad de diseño.
- La alimentación contiene 800 ppm de azufre, en tanto que los productos contienen 0.5 ppm de azufre.



Especificaciones de las alimentaciones.-

Nafta primaria procedente de las unidades de Destilación Atmosférica	
FLUJO	36600 BPD
°API	63.5
PM	112.79
AZUFRE	800
NITROGENO	2.5
CLORUROS	1.2
ARSÉNICO	50
PLOMO	50

Hidrógeno procedente de la unidad Reformadora de Naftas	
FLUJO (máxima formación de ligeros)	3.55 MMPCSD a 20°C y 1 KG/cm ² abs.
Composición	Fracción molar
H ₂ O	trazas
H ₂ S	trazas
H ₂	0.767
C1	0.084
C2	0.07
C3	0.043
i C4	0.01
n C4	0.012
i C5	0.005
n C5	0.003
i C6	0.003
n C6(+)	0.003
Total	1

Especificaciones de los productos.- Gasolina desulfurada y desisohexanizada, de la que se envían 30,000 BPD a la unidad Reformadora de Naftas, 1198 BPD a la sección de Fraccionamiento de la unidad Tratadora y Fraccionadora de Hidrocarburos y 1692 BPD a **L.B**¹⁰. (para almacenamiento).





Composición	
ARSÉNICO	1 ppb máx
NITRÓGENO	total 0.5 ppm máx
AZUFRE	0.5 ppm máx
CLORUROS	0.5 ppm máx
FLUORUROS	0.5 ppm máx
PLOMO	20 ppb máx
COBRE	20 ppb máx
OXIGENO COMBINADO	Total 0.5 ppm de agua en el gas de recirculación, máx.

Componente	% Molar
n C4	0.001
i C5	0.194
n C5	0.549
i C6	4.597
n C6 (+)	94.659
Total	100

Pentanos e isohexanos que se envían a la Sección de Fraccionamiento de la unidad Tratadora y Fraccionadora de hidrocarburos.

<i>Flujo normal</i>	
<i>(formación normal de ligeros)</i>	2761 BPD a 15.6 °C
<i>Flujo máximo</i>	
<i>(máxima formación de ligeros)</i>	5750 BPD a 15.6 °C
Composición	% Molar
i C4	0.046
n C4	0.616
i C5	18.561
n C5	32.402
i C6	32.322
n C6(+)	16.053
Total	100
<i>Peso molecular</i>	78.84





Butanos y compuestos más ligeros que se envían a la Sección de Tratamiento con DEA de la unidad Tratadora y Fraccionadora de Hidrocarburos donde se eliminará de ellos el ácido sulfhídrico, para su posterior fraccionamiento en la misma planta.

<i>Flujo normal</i> <i>(formación normal de ligeros)</i>	
895 BPD a 15.6 °C	
<i>Flujo máximo</i> <i>(máxima formación de ligeros)</i>	
2433 BPD a 15.6 °C	
Composición	% Molar
H ₂	0.326
H ₂ S	2.599
C ₁	1.629
C ₂	7.024
C ₃	13.943
<i>i</i> C ₄	15.157
<i>n</i> C ₄	52.941
<i>i</i> C ₅	4.426
<i>n</i> C ₅	1.931
<i>i</i> C ₆	0.011
<i>n</i> C ₆ (+)	0.003
Total	99.99

Gas amargo que se envía a la Sección de Tratamiento con DEA (Dietanolamina) de la unidad Tratadora y Fraccionadora de Hidrocarburos, para eliminarle el ácido sulfhídrico.

<i>Flujo normal</i> <i>(formación normal de ligeros)</i>	54.6 Mm ³ std/d a 20 °C y 1 Kg/cm ² abs
<i>Flujo máximo</i> <i>(máxima formación de ligeros)</i>	86.2 Mm ³ std/d a 20 °C y 1 Kg/cm ² abs



Alimentaciones a la planta.-

Condiciones en límite de batería				
Alimentación	Edo. Físico	Presión man. (Kg/cm ²) máx./normal/mín.	Temperatura (°C) máx./normal/mín	Forma de recibo
<i>Nafta ligera</i>	<i>Líquido</i>	<i>*/5.0/*</i>	<i>40/38/*</i>	<i>Tubería</i>
<i>Gasolina</i>	<i>Líquido</i>	<i>*/3.2/*</i>	<i>*/49/46</i>	<i>Tubería</i>
<i>Hidrógeno</i>	<i>Gas</i>	<i>*/37/*</i>	<i>*/63.3/*</i>	<i>Tubería</i>

Productos de la planta.

Condiciones en límite de batería				
Producto	Edo. Físico	Presión man. (Kg/cm ²) máx./normal/mín.	Temperatura (°C) máx./normal/mín	Forma de entrega
<i>Gasolina desisohexanizada a Pta Reformadora</i>	<i>Líquido</i>	<i>*/22.2/*</i>	<i>*/98.7/*</i>	<i>Tubería</i>
<i>Gasolina desisohexanizada a almacenamiento</i>	<i>Líquido</i>	<i>*/3.5/*</i>	<i>*/38/*</i>	<i>Tubería</i>
<i>Gasolina desisohexanizada a Pta Tratadora (fracc.)</i>	<i>Líquido</i>	<i>*/5.4/*</i>	<i>*/147.2/*</i>	<i>Tubería</i>
<i>Pentanos e isohexanos a Pta. Tratadora (fracc.)</i>	<i>Líquido</i>	<i>*/4.2/*</i>	<i>*/79.4/*</i>	<i>Tubería</i>
<i>Butanos y más ligeros a Pta Tratadora (trat. Con DEA)</i>	<i>Líquido</i>	<i>*/23.2/*</i>	<i>*/43/*</i>	<i>Tubería</i>
<i>Gas amargo a gas Pta. Tratadora (trat. Con DEA)</i>	<i>Gas</i>	<i>*/5.2/*</i>	<i>*/39.7/*</i>	<i>Tubería</i>

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La planta Hidrodesulfuradora de Naftas está diseñada para procesar una carga de 36, 600 BPD de nafta ligera y nafta de despunte procedente de la Planta Atmosférica. El objeto de esta planta es eliminar los compuestos de azufre presentes en la alimentación, así como preparar la carga a la planta Reformadora.

La planta consta de dos secciones: Sección de Reacción y Sección de Estabilización y Fraccionamiento.



- **Sección de Reacción.**

El objeto de esta sección es efectuar la eliminación de compuestos de azufre y nitrógeno fundamentalmente, mediante la reacción de hidrogenación en un reactor catalítico de lecho fijo.

La alimentación, formada por una mezcla de nafta ligera y nafta de despunte proveniente de la Planta Atmosférica, se recibe en el Tanque Acumulador de Carga **FA-401** pasando previamente por el filtro de carga **FG-401/R** en donde se eliminan los sólidos presentes en la nafta, y esta mezcla se envía por medio de la bomba de carga **GA-401/RT** hacia dos trenes de cambiadores de calor en paralelo, previa inyección de las corrientes de hidrógeno proveniente del Compresor de Recirculación de Hidrógeno **GB-401** y de Hidrógeno de reposición proveniente de Planta Reformadora. Los trenes están formados por los cambiadores **EA-401 A-D**, **EA-402 A-D**, los cuales utilizan el efluente del reactor para precalentar la carga de una temperatura de 41.7 °C a 279.4 °C.

La carga a estas condiciones pasa al Calentador de Carga **BA-401** con el objeto de suministrarle el calor requerido para el proceso hasta alcanzar la temperatura necesaria en el reactor de 351.7 °C. La carga totalmente vaporizada a esta temperatura pasa a través del Reactor **DC-401** de lecho fijo en el cual se efectúan las reacciones de Hidrogenación y transformación de los compuestos de Nitrógeno y Oxígeno. Dichas reacciones son exotérmicas, y el producto se calienta hasta una temperatura de 360 °C.

El efluente del reactor intercambia calor con la carga en los cambiadores **EA-402 A-D** y **EA-401 A-D** y con el líquido procedente del Tanque Separador de Producto Desulfurado **FA-402** en el cambiador **EA-403 A-B**. Finalmente la corriente de producto desulfurado efluente de los cambiadores **EA-401 A-D** se enfría con agua en el Enfriador de Producto Desulfurado **EA-404 A-D** hasta una temperatura de 43.3 °C. La mezcla líquido-vapor formada se lleva al Tanque Separador de Producto Desulfurado **FA-402**. En este tanque la mezcla se separa en dos fases: una fase gaseosa que pasa a través del Tanque de Succión del Compresor de Recirculación **FA-403**, con objeto de eliminar las pequeñas cantidades de líquido que pudieran haber sido arrastradas y posteriormente se maneja con el Compresor de Recirculación de Hidrógeno **GB-401**. A la corriente de descarga del compresor **GB-401** se le une la corriente de hidrógeno de reposición proveniente de la Planta Reformadora, para posteriormente unir la mezcla gaseosa con descarga de la bomba de carga **GA-401/RT**. La fase líquida





separada en el Tanque Separador de Producto Desulfurado **FA-402** se envía a la Sección de Estabilización y Fraccionamiento.

- **Sección de Estabilización y Fraccionamiento.**

La finalidad de esta sección es la separación de ligeros, la cual se logra en la Torre Desbutanizadora **DA-401**, y la preparación de la carga a la planta Reformadora que se efectúa en la Torre Desisohexanizadora **DA-402** la cual realiza la separación del isohexanos de los hexanos y más pesados.

La fase líquida procedente del Tanque Separador de Producto Desulfurado **FA-402**, se precalienta en los Cambiadores **EA-405 AB** y **EA-403 AB** al intercambiar calor con los fondos de la Torre Desisohexanizadora **DA-402** y con el efluente del reactor respectivamente.

Al líquido así precalentado se le reduce la presión y a causa de esto se efectúa la separación de hidrocarburos ligeros e hidrógeno de los hidrocarburos pesados en el primer Tanque Separador de Alimentación a Torre Desbutanizadora **FA-404**.

La corriente gaseosa formada por los hidrocarburos ligeros, hidrógeno y cierta cantidad de compuestos de azufre pasa a través del Enfriador de Gas Amargo **EA-406 AB** enfriándose de una temperatura de 143.3 °C a 37.8 °C, inyectándose antes una corriente de inhibidor de corrosión para proteger al equipo contra la corrosión. El objeto de hacerla pasar por este enfriador es condensar y recuperar los hidrocarburos presentes en la mezcla.

El efluente del enfriador de Gas Amargo **EA-406 AB** pasa al segundo Tanque Separador de Alimentación a Torre Desbutanizadora **FA-405**, donde se efectúa la separación de la fase gaseosa y la fase líquida. La fase gaseosa constituida por gas amargo se envía a la planta de Tratamiento con DEA.

La fase líquida procedente de los tanques separadores (**FA-404 y FA-405**), se envía mediante las bombas **GA-408/R** y **GA-409/R** respectivamente, uniéndose posteriormente para alimentarse al plato número 15 de la Torre Desbutanizadora **DA-401**. La Torre Desbutanizadora, cuyas condiciones de operación son de 16.8 Kg. /cm² man. Y 93.3 °C en los domos, tiene por objeto separar los Hidrocarburos ligeros y butanos de los hexanos e hidrocarburos más pesados. Por los domos de dicha Torre salen los vapores conteniendo una cierta cantidad de compuestos de azufre que pudieran ocasionar problemas de corrosión en los equipos, por lo que es necesario inyectarle cierta cantidad de inhibidor de corrosión.





Estos vapores se condensan parcialmente al pasar a través del Condensador de la Torre Desbutanizadora **EA-407 A-B**. La separación se lleva a cabo en el Tanque Acumulador de Reflujo de la Torre Desbutanizadora **FA-406**.

El vapor formado por gas amargo se une a la corriente que sale del segundo Tanque Separador de Carga a la Torre Desbutanizadora **FA-405** y se envía a la Planta de Tratamiento con DEA. El condensado se divide en dos corrientes: una es enviada mediante la bomba **GA-403/R** a la planta de Tratamiento con DEA pasando primero a través del Enfriador de Destilado Líquido de la Torre Desbutanizadora **EA-410**. La otra corriente se envía como reflujo hacia la torre mediante la bomba **GA-402/RT**.

La corriente de fondos de la Torre Desbutanizadora constituida por pentanos, hexanos y más pesados, se divide en: una corriente que se recircula hacia el rehervidor de la Torre Desbutanizadora **BA-402**, mediante la bomba **GA-404/RT** y la otra corriente se envía a la Torre Desisohexanizadora, previa disminución de presión de 17.2 Kg/cm² man. hasta 2.1 Kg/cm² man. que es la presión de operación de la Torre Desisohexanizadora.

En la Torre Desisohexanizadora cuya temperatura en el domo es de 86.7 °C se efectúa la separación de pentanos y hexanos de los hidrocarburos pesados. Los pentanos y hexanos salen por los domos de la torre condensándose totalmente al pasar a través del condensador de la Torre Desisohexanizadora **EA-408 A-D**. El condensado pasa al Tanque Acumulador de Reflujo de la Torre Desisohexanizadora **FA-407**. Parte del condensado se recircula hacia la Torre para mantener la relación de reflujo requerido y la corriente restante se envía como carga a la Planta Fraccionadora, utilizándose para ambos servicios la Bomba **GA-407/R**.

De la corriente que sale de los fondos de la Torre Desisohexanizadora, constituida principalmente de una mezcla de hexano y más pesados, parte se recircula al rehervidor de la Torre Desisohexanizadora **BA-403**, mediante la bomba **GA-410/RT** y parte se pasa al Tanque de Balance **FA-408**. El efluente de este tanque se divide en tres corrientes. La primera es enviada mediante la bomba **GA-405/RT** hacia la planta Reformadora pasando previamente una parte de esta corriente por el Primer Precalentador de Carga a Torre Desbutanizadora **EA-405 AB** en el cual intercambia calor con el líquido desulfurado proveniente del Tanque Separador de Producto Desulfurado **FA-402** y la otra por un desvío, para posteriormente unir esta parte con el efluente del Cambiador **EA-405 A-B**. La segunda corriente se envía a Planta Fraccionadora mediante la bomba **GA-406/R**. La corriente restante





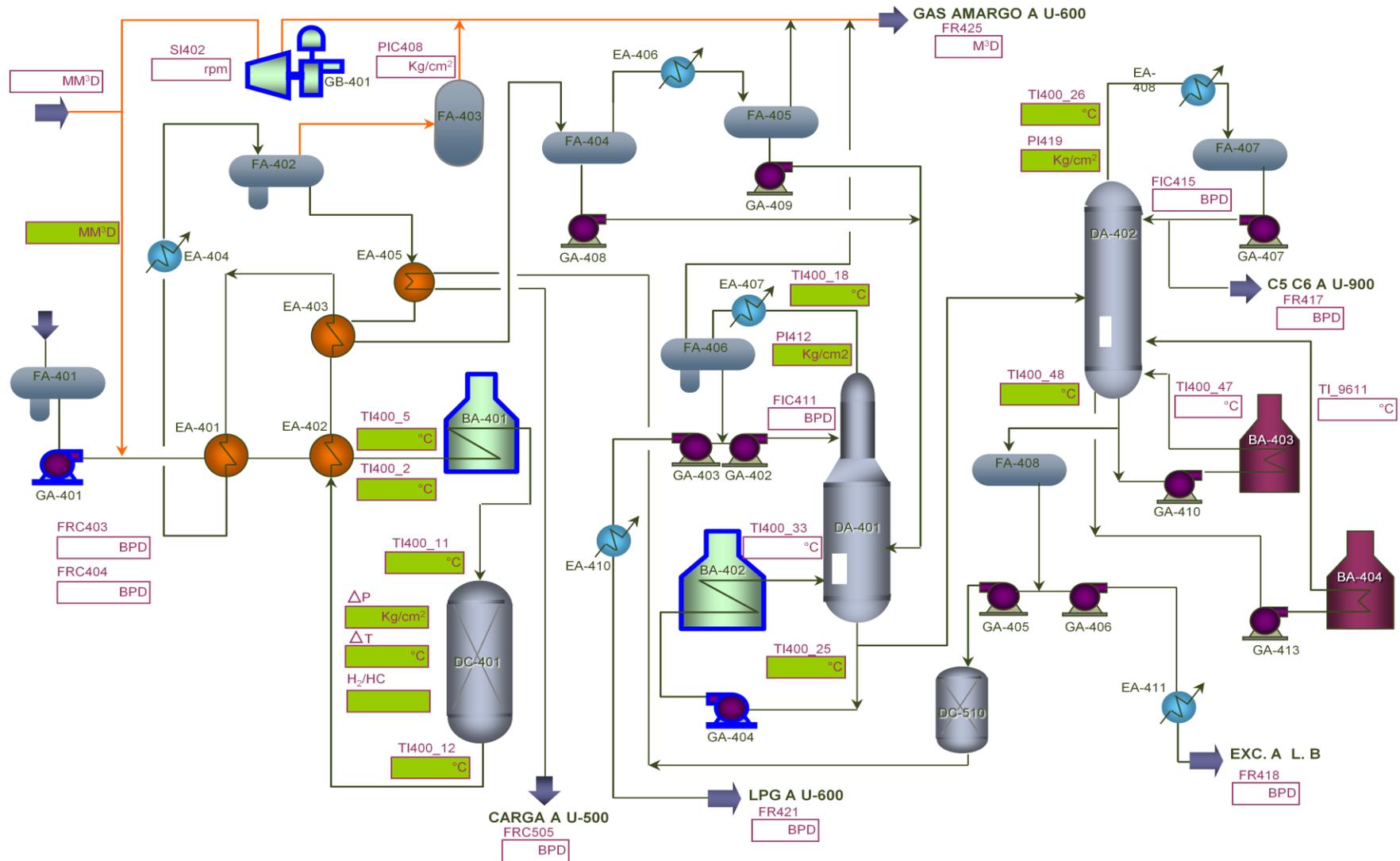
se envía mediante la misma Bomba **GA-406/R** al Enfriador de Fondos de la Torre Desisohexanizadora **EA-411 A/B**, donde se enfría de 146.9 °C hasta una temperatura de 37.8 °C y posteriormente se envía hacia límites de batería como producto.¹⁰

10.-Límite de Batería (LB).- Es un punto común de entrada y salida de productos dentro y fuera de especificación.

11.-Todas las especificaciones y descripción del proceso se obtuvieron del .Manual de datos de proceso de la Planta Hidrodesulfuradora de Naftas II.



HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS No. 2



V.- PROBLEMAS A RESOLVER

- 1.- Cálculo de la carga térmica de los Calentadores a Fuego Directo BA-403 y BA-404 de la unidad 400 (Hidrosulfuradora de Naftas) del sector Hidros-II en condiciones reales de operación.
- 2.- Cálculo de la carga térmica necesaria para disminuir la severidad de operación del Calentador a Fuego Directo BA-401 de la unidad 400 del sector Hidros-II.
- 3.- Esquema y cálculo del cambio en el tren de precalentamiento en la unidad 400.

VI.- ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES.-

- ❖ Mediante una simulación en Hysys disminuir la carga térmica del Calentador a Fuego Directo BA-401 implementando el Calentador a Fuego Directo BA-403 en el tren de precalentamiento.

LIMITACIONES.-

- ❖ Para calcular el rendimiento total del Calentador a Fuego Directo BA-401 no se cuenta con los resultados del análisis de los gases de la chimenea.
- ❖ Para el cálculo del combustible consumido las mediciones que se tienen en el área de proceso están mal.

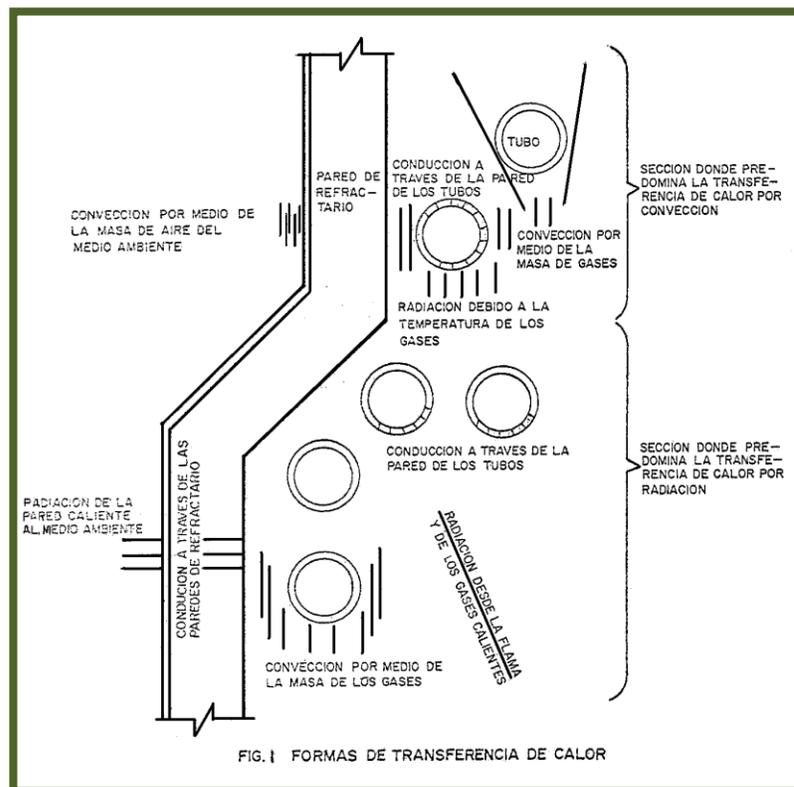


VII.- FUNDAMENTO TEÓRICO

Dentro de la industria de Refinación y Petroquímica frecuentemente se requiere suministrar calor a algunas corrientes de proceso con diversos fines pudiéndose efectuar en equipos llamados “Calentadores a Fuego Directo” (CAFD) u “Hornos de proceso”.

Son llamados CAFD por la razón de que parte del serpentín de calentamiento se encuentra en la zona donde se genera la flama por efecto de la combustión de aceite o gas combustible en los quemadores, y la energía desprendida se transfiere desde la flama y los gases calientes a la corriente del fluido de proceso.

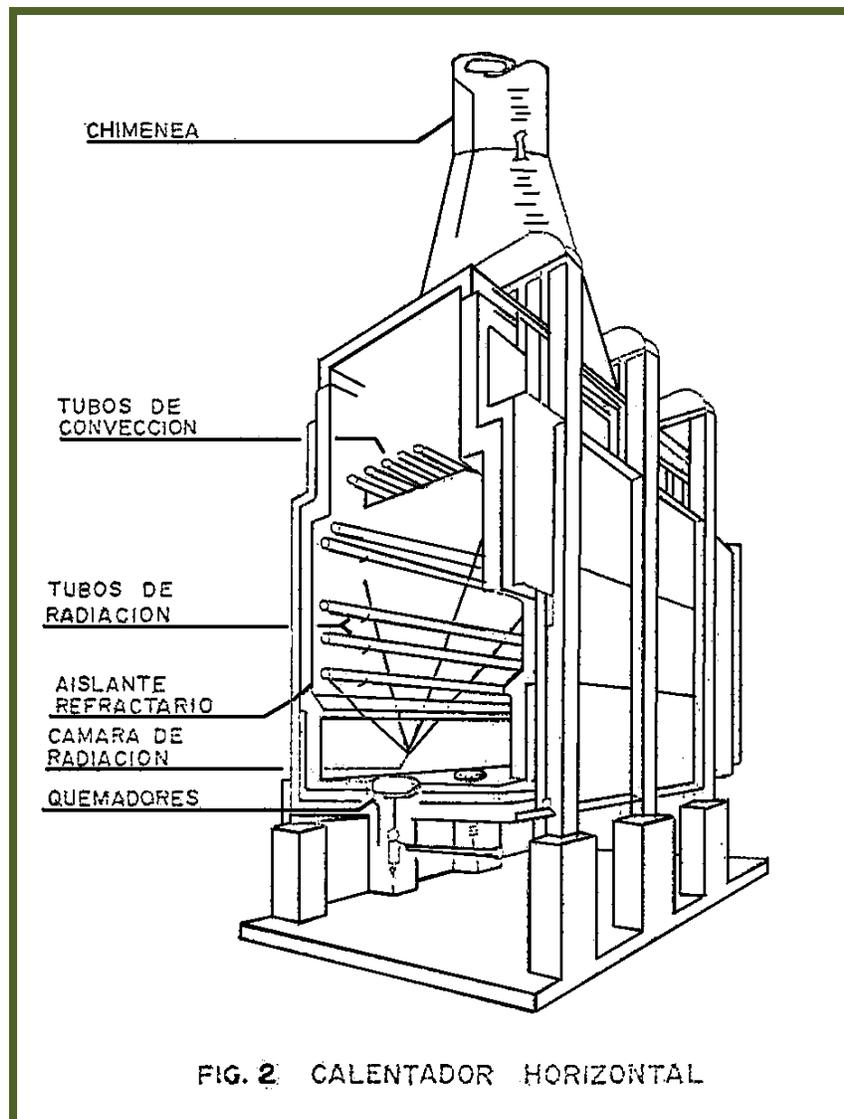
El fluido a calentar está contenido dentro de los tubos del serpentín colocado en el interior del CAFD. En los CAFD se presentan los mecanismos de transferencia de calor existentes como en la (Fig.1) y de acuerdo al mecanismo predominante que se lleva a cabo desde la flama y los gases de combustión a los tubos que contienen el fluido de proceso se denominan las secciones siendo éstas una de radiación y otra de convección, existiendo una intermedia entre ellas que se denomina como sección escudo.

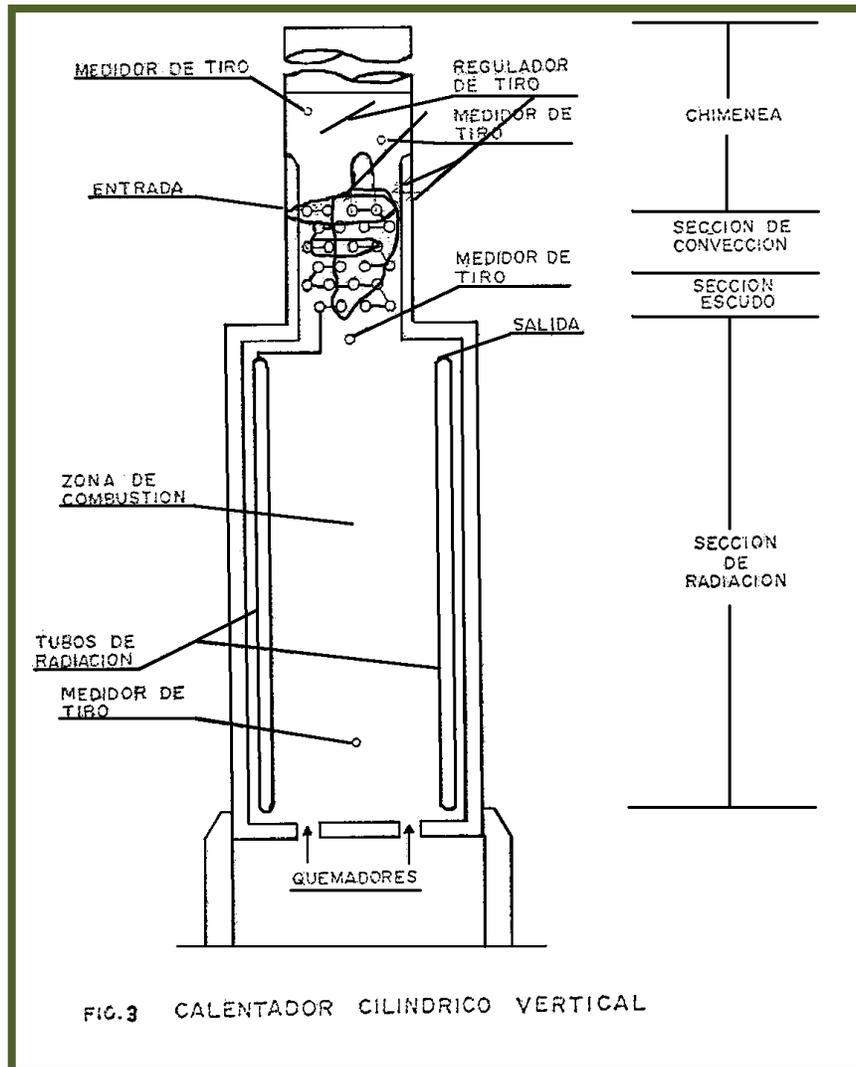


⊙ Clasificación de los calentadores a fuego directo.

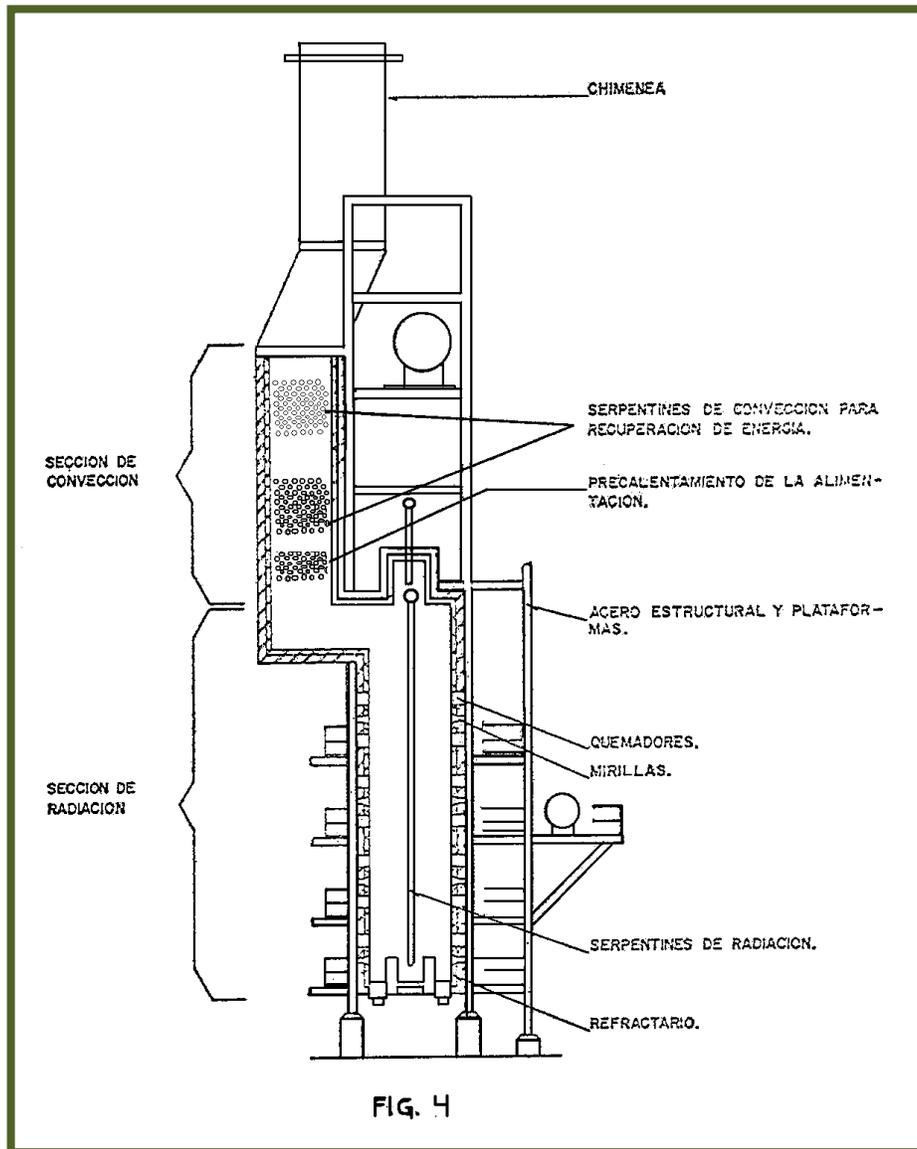
Esta clasificación se hace de acuerdo al servicio que proporciona el CAFD al fluido de proceso siendo la siguiente:

A.- Calentadores.- Se denominan así a los que se usan solamente para suministrar calor a la corriente de proceso para calentarla, evaporar una parte o toda la carga sin que haya cambios químicos. Por ejemplo: calentadores de carga al reactor, rehervidores de columnas, supercalentadores de vapor, calentadores de gas, etc. (Figs.2 y 3).





B.- Calentadores de Cracking.- Son calentadores en los que se efectúa una descomposición térmica para obtener determinados productos o mejores compuestos para uso industrial. Por ejemplo: hornos de producción de olefinas, reductores de viscosidad, etc. (Fig.4).



C.- Reformadores u Hornos Vapor-Hidrocarburos.- Son hornos en las cuales se lleva a cabo una reacción química catalizada dentro del serpentín. Generalmente se diseñan los tubos como cámaras individuales de reacción con lechos de catalizador y que se calientan en la sección de reacción. Estos reformadores se usan para la producción de hidrógeno con los siguientes fines:

- a. Hidrógeno puro
- b. Producción de LNG
- c. Producción de amoniaco
- d. Producción de metanol

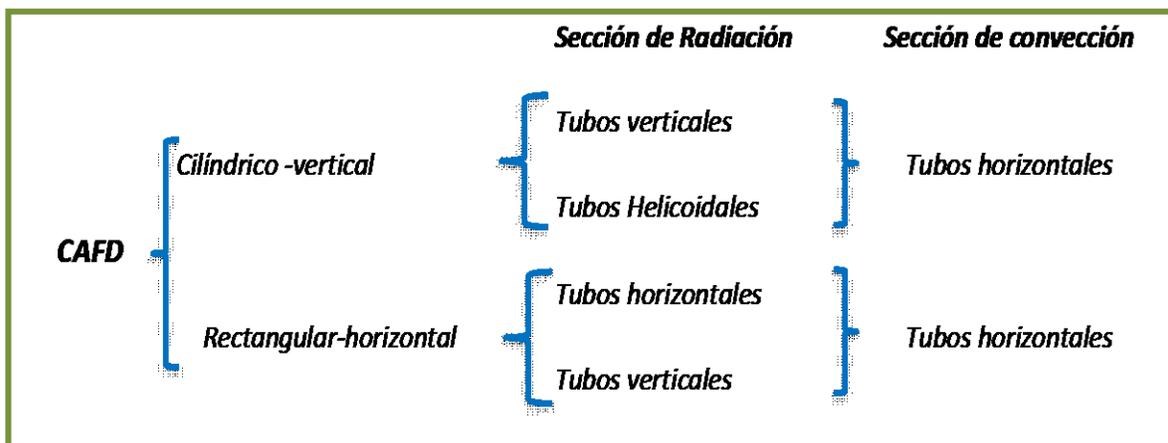


© Tipos de calentadores.

Aunque no existe un criterio uniformizado para designar a los diferentes tipos de CAFD éstos se pueden clasificar en 2 grandes grupos de acuerdo a su forma geométrica.

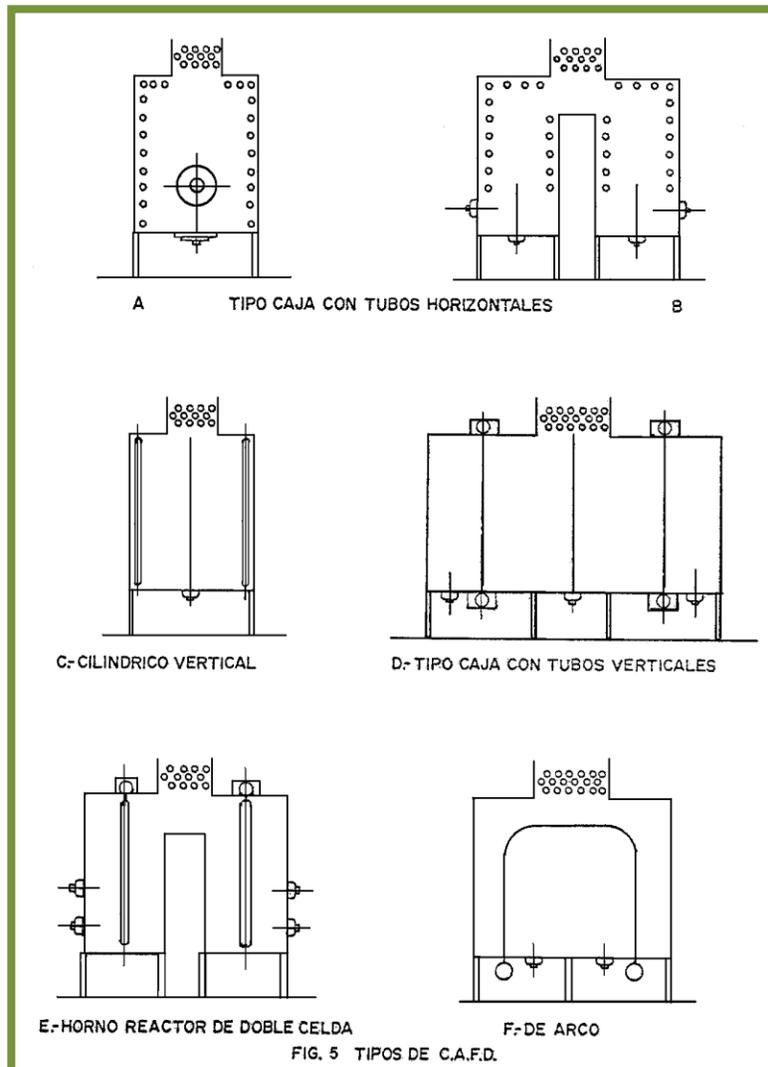
- a) Calentadores cilíndrico-vertical.
- b) Calentadores rectangular-horizontal.

La colocación de los tubos puede ser como sigue:



La figura 5 muestra diagramas simplificados de 6 diferentes tipos de calentadores, los diagramas A y B son ejemplos de calentadores tipo caja de tubos horizontales, en los cuales los tubos son soportados por soportes de alta aleación desde las paredes laterales y en los arcos. Estos tipos pueden tener quemadores en el piso, en las paredes extremas o en las paredes laterales.





El tipo “C” es un horno cilíndrico vertical en el cual los tubos son soportados desde el techo al piso de la zona de radiación, por lo tanto requieren menos soportes que los tipo A y B. Este tipo de horno es con quemadores al piso y generalmente es más económico para fabricar.

El tipo “D” es de tubos verticales es de tubos verticales tipo caja. Este tipo puede usarse con una sola fila de tubos o con doble fila alternada o en varias filas, con hileras de quemadores a ambas caras de los tubos.

El tipo “E” es también un calentador tipo caja de tubos verticales pero de un tipo especial. Una unidad de doble celda radiante se muestra, pero este tipo es también formado por unidades de simple celda. Los tubos están en una sola fila en



una celda, con quemadores en ambos lados para mejor distribución uniforme del calor alrededor del tubo. También los quemadores se distribuyen a lo largo de los tubos, siguiendo un patrón de calentamiento verticalmente para un control para un control máximo del perfil de flujo térmico. Estas características se desean en el control de la energía suministrada para los hornos reactores, pero es el tipo de diseño más caro al igual que para construirlo.

El tipo “F” es un diseño tipo arco, especialmente adaptado para flujos de calentamiento bajo condiciones uniformes y con muy poca caída de presión desde el distribuidor de entrada hasta el de salida.¹²

LAS PARTES CONSTITUTIVAS DE UN CALENTADOR SON:

SECCIÓN DE RADIACIÓN.

El calentador tiene una sección de radiación. Dentro de ésta se encuentra parte del serpentín de proceso que queda expuesto directamente a las flamas pero sin tocarlas y por lo tanto predomina el mecanismo de transmisión de calor por radiación; no obstante, debido a que durante la combustión se generan gases, éstos tienden a ocupar el volumen presente ocasionando circulación y recirculación entre los tubos, presentándose entonces, pero en menor proporción, el mecanismo de transmisión de calor por convección. La sección de radiación tiene recubiertas sus paredes internamente con refractario-aislante con objeto de mantenerla a alta temperatura y evitar las fugas de calor hacia el exterior.

En esta sección se genera la flama y se alcanzan las temperaturas más altas, por lo que es conveniente absorber en esta sección la mayor cantidad de calor, tomando en cuenta el área expuesta y material de los tubos para que esa absorción de calor resulte más económica.

La función principal de esta sección es la de proveer el espacio suficiente para que se efectúe la combustión completa del combustible y contener al serpentín de proceso para lograr el calentamiento del fluido.



➤ **Quemador:**

La función del quemador es la de efectuar el mezclado del combustible (gas natural, combustóleo, etc.) con el comburente (oxígeno del aire) y realizar su combustión completa.

➤ **Serpentín de fluido de proceso:**

El serpentín tiene como función la de conducir, a través del CAFD (calentador a fuego directo), el fluido de proceso que va a ser calentado.

➤ **Tubos escudo:**

La función de estos tubos es la de proteger al resto de los tubos de convección que generalmente son de superficie extendida evitándose se alcancen altas temperaturas en estos últimos.

SECCIÓN DE CONVECCIÓN:

La sección de convección es una parte integral de un horno y su propósito es aprovechar el calor de los gases de combustión que abandonan la sección de radiación. El calor que se aprovecha se le adiciona al fluido de proceso que sufre un precalentamiento o es absorbido por otro servicio adicional en la zona de convección. Debido a que los gases de combustión al abandonar la zona de radiación han perdido gran cantidad de su contenido de energía, cuando entran a la zona de convección ha disminuido su temperatura; por lo que la zona de convección opera a temperaturas menores que la zona de radiación.

Como en la sección de radiación, en la sección de convección, el calor es transmitido por radiación y por convección. Pero como los fenómenos de conducción y convección son afectados primordialmente por la diferencia de temperaturas y muy poco por el nivel térmico, en la sección de convección la conducción y convección son los mecanismos que contribuyen en mayor proporción a la transferencia de energía.

Por lo anterior, los serpentines de la zona de convección en la mayoría de los hornos, son hechos de tubos aletados o birlados para mejorar la transmisión de calor por convección.



➤ **Sopladores de Hollín:**

Su función es la de dirigir chorros de vapor hacia los tubos de superficie extendida, con la finalidad de eliminar el hollín depositado sobre estos. Los sopladores de hollín se encuentran localizados a distintas alturas en la zona de convección y son tubos con orificios que cruzan de lado a lado a la misma zona.

➤ **Compuerta o mampara:**

Sirve para regular, permitir el paso total o bloquear totalmente el flujo de gases de combustión o aire al conducirse a través de conductos.

SECCIÓN ESCUDO.

Es la sección inicial de la sección de convección y ve directamente la flama, algunas veces se coloca en la sección de radiación y entonces forma parte de ella.

La transferencia de calor se efectúa por radiación y con gran influencia por convección ya que está en el paso de los gases calientes de la sección de radiación a la de convección.

Generalmente se usan tubos desnudos colocados horizontalmente para esta sección.¹³

© **DISEÑO Y EVALUACIÓN**

El diseño de un CAFD requiere de la combinación de varias relaciones de intercambio de calor y contenido calorífico de los gases de combustión para los flujos especificados. Esto debe hacerse para cada corriente y para cada sección del CAFD. En la mayoría de los casos se involucran factores que permiten la solución simultánea de las ecuaciones, sin embargo, en lugar de esto se puede seguir un procedimiento iterativo con aproximaciones sucesivas.

La finalidad de presentar un método de diseño y evaluación es de acuerdo a lo siguiente:

- a) Efectuar estimaciones del tamaño del CAFD, consumo de combustible y recuperación de energía durante la parte de diseño.
- b) Predecir los efectos de los cambios en el flujo de carga, tipo de carga y variables de operación.
- c) Anticipar los efectos de modificaciones propuestas para un CAFD existente.



1.- Criterios de selección del tipo de calentador y colocación del serpentín de calentamiento de la sección de radiación.

En la selección del tipo de calentador va implícita la colocación del serpentín de radiación; en otras palabras, forman un par de variables, dependientes entre si y de los requerimientos que deben cumplir para el buen funcionamiento del calentador.

Las principales variables que determinan el tipo de un calentador y la colocación del serpentín son:

- a) Longitud de los tubos del serpentín.
- b) Requerimientos de calor por unidad de área.
- c) Características del fluido de proceso.
- d) Carga Térmica.
- e) Espacio para colocación del equipo

a) Longitud de los tubos del serpentín.

En base a experiencias y para evitar problemas de mantenimiento se recomienda usar como máximo una longitud límite de tubos, siendo ésta de 80 pies cuando se colocan horizontalmente y de 60 pies cuando se colocan verticalmente, aunque se recomienda también se acerque la longitud a medidas estándares de tubería para evitar desperdicios o fabricación especial.

Se debe tener especial cuidado cuando se coloquen verticalmente en un calentador cilíndrico, ya que siempre existen problemas para cambiar los tubos que quedan debajo de la sección de convección y con mayor razón cuando son de longitud cercana a la máxima recomendable.

b) Requerimientos de calor por unidad de área.

Dependiendo del calor por unidad de área (FLUX) requerido tendremos la colocación del serpentín, que puede ser:



<p>1.- Para Fluxes moderados</p>	<p><i>Tubos cercanos a las paredes de refractario con quemadores viendo a otro lado, verticales u horizontales.</i></p>
<p>2.- Para Fluxes altos sin problemas de gradientes térmicos altos en los tubos y gradiente de dilatación alto.</p>	<p><i>Tubos verticales al centro con quemadores a ambos lados.</i></p>
<p>3.- Para Fluxes altos con gradientes térmicos pequeños y gradientes de dilatación alto.</p>	<p><i>Tubos verticales al centro con quemadores en las paredes a ambos lados ó en el techo de tiro forzado</i></p>

c) Características del fluido de proceso.

De las características del fluido de proceso que son importantes para seleccionar el tipo de horno, tenemos los siguientes:

1. Ensuciamiento.- El ensuciamiento lo representamos por un factor de ensuciamiento (**fi**) y es la resistencia al flujo de calor que presentan los fluidos al formar una película del fluido en la pared del tubo.

Si **fi** es menor de 0.001 1/BTU/hr °F pie² se pueden usar tubos verticales sin problemas graves, si es de 0.001 a 0.004 se pueden usar también verticales pero con previsiones para limpieza. Cuando **fi** es menor de 0.05 se pueden usar tubos horizontales para todos los casos previniendo la limpieza de los mismos según el caso. Si **fi** es mayor de 0.05 se usará otro tipo de calentador llamado a fuego indirecto.

2. Tendencia a la coquización.- Además del ensuciamiento en algunos casos existirá coquización, para lo cual se recomienda dejar las previsiones necesarias para decoquización y usar tubos verticales u horizontales, según lo que convenga más de acuerdo al punto b.
3. Incrustación.- La incrustación es causada por el contenido de sales minerales en el fluido y se recomienda usar tubos horizontales. Generalmente las características de incrustación se indican junto con el factor de ensuciamiento.



d) Carga Térmica.

La carga térmica del horno nos determina las dimensiones del calentador y tomando en cuenta lo dicho en los puntos a, b y c se puede seguir el siguiente criterio:

- 1) Menores de 30 MMBTU/hr- cilíndrico con tubos verticales, rectangular con tubos horizontales ó a fuego directo.
- 2) Mayores de 30 MMBTU/hr- cilíndrico con tubos verticales para determinados casos y todos los demás rectangulares con tubos horizontales y para casos especiales tubos verticales.

e) Espacio para colocación del equipo.

Cuando se tiene poco espacio para colocar un horno, se opta por usar uno cilíndrico con tubos verticales siempre y cuando los problemas de mantenimiento que se prevengan sean mínimos. En caso contrario, no hay ningún problema para limitar el tipo de horno y será de acuerdo a lo mencionado en los puntos anteriores.

2.- Criterios de prediseño.

Los criterios de prediseño son aquellos que no van incluidos en los métodos de cálculo clásicos (de diseño o evaluación) y que son básicos para el buen desarrollo de los mismos.

A. Aire para la combustión.

- a) Aire teórico: es el aire estequiométrico para llevar a cabo la combustión del combustible en cuestión y la relación en peso aire/combustible se conoce con la fórmula de Dulong.

$$A_T = 0.115(\%C) + 0.345(\%H_2) + 0.0432(\%S - \%O_2)$$

Donde:

A_T = Relación peso de aire teórico, lb aire/lb comb. ó Kg aire/Kg comb.

$\%C$ = % peso de carbono en el combustible.





$\%H_2 = \% \text{ peso de hidrógeno en el combustible.}$

$\% S = \% \text{ peso de azufre en el combustible.}$

$\%O_2 = \% \text{ peso de Oxígeno en el combustible.}$

Generalmente se conoce el poder calorífico de los combustibles, tanto superior (PCS) como inferior (PCI) ya que son necesarios para el consumo de combustible, y para simplificar los cálculos del aire teórico, se usan las siguientes fórmulas:

Para combustibles hidrocarburos gaseosos:

$$A_T = \frac{1638.5}{PCI + 155.0} + 15.0$$

Y para combustibles hidrocarburos líquidos:

$$A_T = 0.00075 (PCS)$$

Donde:

PCI= *Poder calorífico inferior del combustible; BTU/SCF*

PCS= *Poder calorífico superior del combustible; BTU/lb*

b) Aire práctico: es el aire usado realmente para la combustión, el cual es superior al teórico para asegurar una combustión completa.

Se encuentra con el exceso de aire suministrado y es:

$$A_p = A_T = \left(1.0 + \frac{\%EXC}{100} \right)$$

Donde:

$A_p = \text{Aire práctico: lb aire/lb comb. ó Kg aire/Kg comb.}$

$\%EXC = \% \text{ peso de exceso de aire.}$





- c) Exceso de aire: prácticamente se han determinado los excesos de aire adecuados cuando se usan quemadores de tiro natural:
 Para combustibles gaseosos = 20%
 Para combustibles líquidos = 30%

Cuando se tiene una operación cuidadosa en el CAFD se pueden reducir los excesos de aire, aumentando así la eficiencia del mismo ó cuando se tienen quemadores especiales o de tiro forzado.

B. Pérdidas de calor por las paredes.

En los CAFD hay pérdidas de calor por las paredes del mismo, debido a que se diseñan para que la temperatura exterior del cascarón sea 200° F máximo (De acuerdo al espesor de refractario usado).

Los porcentajes de pérdidas que se toman de acuerdo a la práctica son los siguientes:

Calentador Rectangular-horizontal:	Total	=	3% Q_L	=	q_P
	Radiación	=	2% Q_L	=	q_{PR}
	Convección	=	1% Q_L	=	q_{PC}
Calentador Cilíndrico-Vertical	Total	=	2.5% Q_L	=	q_P
	Radiación	=	1.5% Q_L	=	q_{PR}
	Convección	=	1% Q_L	=	q_{PC}

Donde:

$$Q_L = \text{Calor liberado total; BTU/hr}$$

C. Distribución de Calor absorbido.

El calor absorbido por la corriente de proceso se determina por:

$$Q_A = \frac{\eta_{TP}}{100} * Q_L$$

Donde:

$$Q_A = \text{Calor absorbido por la corriente de proceso, BTU/hr}$$



$\eta_{TP} = \text{Eficiencia total del CAFD para el servicio de la corriente de proceso, \%}$

$$Y \quad Q_A = q_R + q_c$$

Donde:

$q_R = \text{Calor absorbido en la sección de radiación por la corriente de proceso, Btu/hr.}$

$q_c = \text{Calor absorbido en la sección de convección por la corriente de proceso, Btu/hr.}$

En base a la experiencia se sabe que del total de calor transmitido en el CAFD para la corriente de proceso, del 62 al 70%, se transmite en la sección de radiación y el resto en la sección de convección, o sea:

$$q_R = (0.62 \text{ a } 0.7)Q_A$$

Cuando se inician los cálculos se toma 0.7 con objeto de tener menor área en la sección de radiación.

Este porcentaje depende de la geometría de la sección de radiación y de la temperatura del fluido de proceso y del flux requerido.

D. Definición de rendimiento.

El rendimiento total del horno se define como el calor total absorbido dividido por el calor total liberado, esto es¹²:

$$\eta_T = \frac{Q_D}{Q_L} * 100$$

Donde:

$\eta_T = \text{Rendimiento total del horno, entanto por ciento.}$

$Q_D = \text{Calor total absorbido de diseño por el fluido de proceso y servicios adicionales (BTU/hr).}$



$Q_L = \text{Calor total liberado por el combustible (BTU/hr)}$ Y

$$Q_D = q_R + q_C + q_{SA}$$

Donde:

$$q_{SA} = \text{Calor absorbido por los servicios adicionales} \left(\frac{BTU}{hr} \right)$$

☉ CALENTADOR A FUEGO DIRECTO BA-401 Y BA-403

❖ Descripción del equipo.

El equipo BA-401 funciona como calentador de alimentación al reactor de la unidad Hidrodesulfuradora de Naftas No.2 (U-400) de Salina Cruz, Oaxaca. Fue diseñado por el Instituto Mexicano del Petróleo y fabricado por la compañía Foster Wheeler Mexicana S.A. Este calentador es de tipo caja con una sección de radiación, la capacidad térmica total de diseño es de 44.50 MMBTU/h (11.21 MMcal/h), y el flujo de diseño máximo de 539,350 lb/H (244,865 Kg/h).

La carga vaporizada al 69.11% peso (en el caso de baja formación de ligeros) continúa a través del calentador a fuego directo BA-401 donde recibe la carga térmica necesaria para alcanzar la temperatura requerida en el reactor que va desde 330 °C con catalizador fresco, hasta 352 °C al final de la corrida.

A la entrada del calentador BA-401, en cada cabezal de serpentines se tiene un manómetro local y un sensor de temperatura con indicación en consola. Los serpentines entran en primer término a la sección de convección y en seguida pasan a la de radiación. A la salida de radiación cada serpentín cuenta con un sensor de temperatura con indicación en consola y una alarma por alta temperatura. Estos serpentines se conectan a un cabezal común de 16" ø, el cual tiene indicación de presión (PI-417) y de temperatura (TI-400-11). Esta instrumentación permitirá detectar anomalías en la operación de cada serpentín.

El control de temperatura del calentador BA-401 se realiza mediante el controlador TRC-401 instalado en el cabezal común de salida. La señal de este instrumento es dirigida a través del selector manual SS-401 hacia el controlador de flujo del combustible que se esté utilizando. Estos controladores son FRC-449 y FRC-450 para gas combustible y combustóleo, respectivamente. La cantidad de combustible suministrado se conoce por medio del FRC-449 para gas combustible y FRC-450/FR-408 para combustóleo localizados en el sistema de control





principal. Para el uso de combustóleo se dispone de una línea de vapor de media presión que sirve como vapor de atomización. La inyección de vapor se lleva a cabo controlando la diferencial de presión entre la presión del combustóleo y la del vapor, mediante PDIC-407.

El calentador BA-401 está protegido por la acción de baja presión en el suministro de combustible a quemadores y pilotos, por lo cual se tienen instalados los interruptores PSL- 403 A, PSL-403 B y PSL-406 que envían una señal de corte a las válvulas actuadas por solenoide UV-403A, UV-403B y UV-406 respectivamente.

Para conocer las condiciones de operación del calentador se tiene instalada la siguiente instrumentación: indicadores de temperatura de las zonas de radiación, convección y la chimenea, un indicador de la presión del tiro, y en la chimenea una toma de muestra de los gases de combustión.

❖ **Calentador a fuego directo BA-403**

(Calentador Rehervidor de la Torre Desisohexanizadora Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas No 2.)

El equipo BA-403 funciona como calentador rehervidor de la Torre Desisohexanizadora de la Unidad Hidrodesulfuradora de Natas No. 2 de Salina Cruz, Oaxaca. Fue diseñado por el Instituto Mexicano del Petróleo y fabricado por la compañía Foster Wheeler Mexicana S.A Este calentador es tipo cilíndrico con una sección de radiación, la capacidad térmica total de diseño es de 20.50 MMBTU/H, y el flujo de diseño máximo de 302,379 lb/H.

La corriente que circula a través del calentador BA-403, se alimenta por medio de las bombas GA-410 M/RT a razón de 26 377 BPD (21 368 BPD en caso de baja formación de ligeros).

Antes de entrar la corriente de alimentación al rehervidor, se distribuye en dos serpentines, regulándose el flujo de cada unos de ellos mediante controladores.

La corriente entra primeramente a la sección de convección y en seguida pasan a la de radiación. En cada serpentín se tienen instalados manómetros indicadores de presión y alarmas por bajo flujo. El incremento total de la temperatura a través del calentador BA-403 es de 13 °C. A la salida de radiación cada serpentín cuenta con un indicador de temperatura con punto de consola y una alarma por alta





temperatura. A la salida del calentador los serpentines se conectan a un cabezal común de 16"Ø en el cual se tiene indicación de presión y de temperatura.

La cantidad de combustible suministrado se conoce por medio del FRC-457 para gas combustible y FRC-458/FR-419 para combustóleo, localizados en el sistema de control principal.

Para el uso de combustóleo se dispone de una línea de vapor de media presión para inyectarse como vapor de atomización a control de diferencial de presión entre la presión del combustóleo y la del vapor, mediante PDIC-466. El calentador BA-403 está protegido por la acción de baja presión en el suministro de combustible a quemadores y pilotos, por lo cual se tienen instalados interruptores.

Este calentador tiene las mismas partes constitutivas que el BA-401.¹⁴

12.- Libro- *Diseño Térmico de Calentadores a Fuego Directo*. IMP. Ref. Salina Cruz Oaxaca.

13.- *Manual de operación y mantenimiento del Calentador a Fuego Directo BA-401*.

14.- *Manual de datos de proceso de la Planta Hidrodesulfuradora de Naftas II*.



VIII.- MATERIALES Y MÉTODOS

El mejoramiento en la operación de los procesos de Refinación requiere del uso de herramientas, los simuladores de proceso son una de estas herramientas que por su versatilidad se han hecho día a día más indispensables como soporte en la solución de problemas operativos y mejoramiento de las condiciones de operación de las plantas.

❖ Simulador HYSYS.

Hysys es un software para la simulación de plantas petroquímicas y afines, incluye herramientas para estimar:

- Propiedades físicas
- Equilibrio liquido-vapor
- Balances de materia y energía
- Simulación de muchos equipos de Ing. Química.
- Simula procesos en estado estacionario y dinámico.

Requisitos para efectuar una simulación:

- 1.- Crear un paquete de unidades de acuerdo a los datos disponibles.
- 2.- Crear un paquete de fluidos, estableciendo el número de componentes y la ecuación de estado que predecirá su comportamiento.
- 3.- Crear la topología del proceso y cubrir todos los requerimientos para su corrida, la corrida inicial será para validar la condición de diseño, la siguiente para representar el comportamiento bajo condiciones actuales. Logrado lo anterior se iniciaran corridas para mejorar alguna condición del proceso o equipo.
- 4.- Una vez que se tenga la simulación bien definida se podrá proceder a efectuar una optimización de alguna operación o del proceso involucrado.





Hojas de diseño de los Calentadores a Fuego Directo BA-401 y BA-403

 INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO SUBDIRECCIÓN DE INGENIERIA DE PROYECTOS DE PLANTAS INDUSTRIALES		FIRED HEATER PROCESS DATA SHEET
CLIENT	PETROLEOS MEXICANOS	JOB N° E- 1207* (8)
PLANT	NAPHTHA HYDRODESULFURIZATION	SHEET 1A OF 3
LOCATION	LAZARO CARDENAS MICH.	MEXICO (8) REQ/P.O. N°
EQUIPMENT TAG N°	BA-401	N° OF UNITES ONE
DESCRIPTION: REACTOR FEED HEATER; CASE A: MAXIMUM LIGHT HYDROCARBONS FORMATION (5)		
TOTAL DUTY, MMBTU/h: 44.5 DESIGN		TYPE: 7
NORMAL OPERATION HEATER SECTION SERVICE HEAT ABSORTION FLUID THRUPUT INLET CONDITIONS OUTLET CONDITIONS	BPSD AT 60 °F	RADIATION AND CONVECTION
	lb/h	PROCESS
	(°API)sp.gr at 60°F	32.6
	MOLECULAR WEIGHT	NAPHTHA (4)
	CHARACTERIZATION FACTOR "K"	-
	TEMPERATURE (°F)	395 128.0
	PRESSURE (psig)	-
	LIQUID (sp. Gr. At P Y T), MOLECULAR WEIGHT	77.42
	LIQUID VISCOSITY (cp), LIQUID CONDUCTIVITY (Btu/h °F ft)	-
	WEIGHT PORCENT VAPOR	485.0
	MOLECULAR WEIGHT VAPOR , VAPOR VISCOSITY (Cp)	3
	VAPOR DENSITY (lb/ft ³), VAPOR CONDUCTIVITY (Btu/h ft °F)	0.53, 120.24
	TEMPERATURE (°F)	0.11, 0.055
	PRESSURE (psig)	69.11
	LIQUID (°API)(sp, gr at 60 °F)	66.79, 0.02
	LIQUID VISCOSITY (cp)	2.98, 0.0395
	WEIGHT PORCENT VAPOR	572.0
	MOLECULAR WEIGHT VAPOR, VAPOR VISCOSITY (cp)	402.0
VAPOR DENSITY (lb/ft ³), VAPOR CONDUCTIVITY (Btu/h ft °F)	-	
FLOW RATE (BPSD)(lb/h)	-	
% OVERDESIGN (Heat)	100.0	
MAXIMUM HEAT FLUX (Btu/h ft ²)	77.42, 0.03	
PRESSURE (psig) (ATM, PRESS 14.15 PSIA)	2.8, 0.0367	
ALLOWABLE PRESSURE DROP (psi)		
MASS VELOCITY (lb/sec/ft ²)min	36.5	
VELOCITY LIMITATION (ft/sec)max	7	
MAXIMUM ALLOWABLE FLUID TEMPERATURE (°F)	600.0	
MINIMUM EFFICIENCY (%) BASED ON LHV (2)	60.0 MAX	
TURNDOWN RATIO	-	
NUMBER OF TUBE PASES	-	
FOULING FACTOR (h ft ² °F/Btu)	-	
CORROSION OR EROSION DUE TO SULPHUR COMPOUNDS	80.0 MIN	
	-	
	(6) (7)	
	-	
	10	





		INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO SUBDIRECCIÓN DE INGENIERIA DE PROYECTOS DE PLANTAS INDUSTRIALES		FIRED HEATER PROCESS DATA SHEET		
CLIENT	PETROLEOS MEXICANOS			JOB N° E- 1207* (7)		
PLANT	NAPHTHA HYDRODESULFURIZATION			SHEET 1 OF 2		
LOCATION	LAZARO CARDENAS MICH.	MEXICO (7)		REQ/P.O. N°		
EQUIPMENT TAG N°	BA-403	N° OF UNITES ONE				
DESCRIPTION: DEISOHEXANIZER REBOILER						
TOTAL DUTY, MMBTU/h: 20.5 DESIGN			TYPE:(2)			
NORMAL OPERATION	HEATER SECTION		2			
	SERVICE		PROCESS			
	HEAT ABSORTION		15.525			
	FLUID		NAPHTHA (5)			
	THRUPUT	BPSD AT 60 °F		20837.2		
		lb/h		229075		
		(°API)sp.gr at 60°F		56.31		
		MOLECULAR WEIGHT		118.31		
	INLET CONDITIONS	CHARACTERIZATION FACTOR "K"		11.94		
		TEMPERATURE (°F)		335.67		
		PRESSURE (psig)		3		
		LIQUID (sp. Gr. At P y T), MOLECULAR WEIGHT		(56.31), (0.6627); (118.31)		
		LIQUID VISCOSITY (cp), LIQUID CONDUCTIVITY (Btu/h °F ft)		(0.186); (0.082)		
		WEIGHT PORCENT VAPOR		-		
		MOLECULAR WEIGHT VAPOR , VAPOR VISCOSITY (Cp)		-		
		VAPOR DENSITY (lb/ft ³), VAPOR CONDUCTIVITY (Btu/h ft °F)		-		
	OUTLET CONDITIONS	TEMPERATURE (°F)		354.04		
		PRESSURE (psig)		34		
		LIQUID (°API)(sp, gr at P y T); MOLECULAR WEIGHT		(54.84)(0.6633);(122.86)		
		LIQUID VISCOSITY (cp); LIQUID CONDUCTIVITY (Btu/h ft °F)		(0.175); (0.0807)		
WEIGHT PORCENT VAPOR		48.08				
MOLECULAR WEIGHT VAPOR, VAPOR VISCOSITY (cp)		(113.8)(0.0083)				
VAPOR DENSITY (lb/ft ³), VAPOR CONDUCTIVITY (Btu/h ft °F)		(0.6865)(0.015)				
DESIGN CONDITIONS	FLOW RATE (BPSD)(lb/h)		302,379			
	% OVERDESIGN (Heat)(FLOW)		32/32			
	MAXIMUM HEAT FLUX (Btu/h ft ²)		2			
	PRESSURE (psig) (ATM, PRESS 14.15 PSIA)		43.0			
	ALLOWABLE PRESSURE DROP (psi)		50.0			
	MASS VELOCITY (lb/sec/ft ²)min		2			
	VELOCITY LIMITATION (ft/sec)max		2			
	MAXIMUM ALLOWABLE FLUID TEMPERATURE (°F)		-			
	MINIMUM EFFICIENCY (%) BASED ON LHV (4)		80.0 (2)			
	TURNDOWN RATIO		-			
	NUMBER OF TUBE PASES		(6) (2)			
	FOULING FACTOR (h ft ² °F/Btu)		-			
	CORROSION OR EROSION DUE TO SULPHUR COMPOUNDS		1/8 IN			



IX.- PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

- Ⓜ **Actividad 1.- Conocer el proceso de la Planta Hidrodesulfuradora de Naftas II y el funcionamiento de los Calentadores a Fuego Directo.**
- Ⓜ **Actividad 2.- Simulación en Hysys para la implementación de un segundo Calentador a Fuego Directo a la sección de reacción.**

Procedimiento:

- ❖ Obtener los conocimientos básicos para la manipulación del ambiente de simulación Hysys.
- ❖ Se analizaron las hojas de diseño de los Calentadores a Fuego Directo *BA-401 y BA-403 para obtener los siguientes datos¹⁵:

DATOS OBTENIDOS DE LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO		
BA-401	Total Duty (MMBtu/hr)	44.5
	Heat absorption (MMBtu/hr)	32.6
	Fluid	Naphtha
BA-403	Total Duty (MMBtu/hr)	20.5
	Heat absorption (MMBtu/hr)	15.525
	Fluid	Naphtha

15.- Las hojas de diseño se encuentran en materiales y métodos.

- ❖ Obtención de las condiciones actuales de operación de la carga a la entrada del Calentador BA-401 y del Reactor DC-401.

Temperatura de operación a la entrada del reactor DC-401	305 °C
---	--------



CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN

	<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Presión</i> (Kg/cm ²)	<i>Flujo</i> (B/D) y (Mnm ³ /D)
<i>Nafta</i>	232	23	36500
<i>Hidrógeno</i>	232	23	508

- ❖ Composición de la carga del Hidrógeno de recirculación.

HIDRÓGENO DE RECIRCULACIÓN	
Componente	% mol
Hidrógeno	88.8
Metano	4.8
Etano	1
Propano	0.5
Iso-butano	0.4
n-butano	1.4
Iso-pentano	0.8
n-pentano	1
n-hexano	1.3

- ❖ Para la caracterización de la carga se utilizaron los reportes de los análisis realizados por laboratorio de la curva de destilación mediante la norma ASTM D-86 (*American Society for Testing Materials.*)

ASTM D-86	
Porcentaje de destilación (%)	Temperatura en °C
TIE	36
10%	65
50%	110
90%	147
95%	155
TFE	167





- ❖ Con los datos de diseño y operación obtenidos de los Calentadores a Fuego Directo, junto con los análisis del laboratorio de la carga se hizo la simulación en el ambiente Hysys implementando un segundo calentador BA-403 en el cual se hace pasar el 50% de la carga y el otro 50% al BA-401, obteniendo la temperatura a la cual opera el Reactor DC-401, disminuyendo la carga térmica del CAFD BA-40. **(Simulación 1)**
- ❖ Se modifico el Duty del calentador BA-403 observándose un cambio en la carga térmica del Calentador BA-401 y una diferencia de temperaturas mayor. **(Simulación 2)**
- ❖ Se registraron las temperaturas de salida, cargas térmicas y diferencia de temperaturas de la evaluación de la carga térmica del BA-401 después de la implementación del BA-403, en la simulación. **(Tabla 1)**
- Ⓢ **Actividad 3.- Simulación en Hysys para el cálculo de las cargas térmicas de los CAFD BA-401, BA-403 y BA-404 en condiciones reales de operación, para determinar si es conveniente la implementación del CAFD BA-403 a la sección de reacción.**

Procedimiento:

Calentador a Fuego Directo BA-401.

- ❖ Para la caracterización de la carga se utilizaron los reportes de los análisis realizados por laboratorio de la curva de destilación mediante la norma ASTM D-86.

ASTM D-86	
Porcentaje de destilación (%)	Temperatura en °C
TIE	38
10%	68
50%	112
90%	148
95%	155
TFE	168



- ❖ Composición de la carga del Hidrógeno de recirculación

HIDRÓGENO DE RECIRCULACIÓN	
Componente	% mol
Hidrógeno	88.8
Metano	4.8
Etano	1
Propano	0.5
Iso-butano	0.4
n-butano	1.4
Iso-pentano	0.8
n-pentano	1
n-hexano	1.3

- ❖ Para la simulación del BA-401 se tomaron en cuenta las condiciones actuales de operación de la carga a la entrada del Calentador BA-401 y del Reactor DC-401.

CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN					
	Temperatura de Ent. (°C)	Temperatura de Sal. (°C)	Presión de Ent. (Kg/cm ²)	Presión de Sal. (Kg/cm ²)	Flujo (B/D) y (Mnm ³ /D)
Nafta	231	305	23	22.5	35000
Hidrógeno	231	305	23	22.5	436.7

Temperatura de operación a la entrada del reactor DC-401 305 °C

- ❖ Con los datos de operación del Calentador a Fuego Directo BA-401, junto con los análisis del laboratorio de la carga se hizo la simulación en el ambiente Hysys determinando la carga térmica de éste. **(Simulación 3).**



Calentador a Fuego directo BA-403.

- ❖ Para la caracterización de la carga (fondo de la Torre DA-402) se utilizaron los reportes de los análisis realizados por laboratorio de la curva de destilación mediante la norma ASTM D-86.

ASTM D-86	
Porcentaje de destilación (%)	Temperatura en °C
TIE	98
10%	109
50%	125
90%	151
95%	158
TFE	169

- ❖ Para la simulación se tomaron en cuenta las condiciones actuales de operación de la carga a la entrada del Calentador BA-403.

CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN					
	<i>Temperatura de (°C)</i>	<i>Temperatura de (°C)</i>	<i>Presión de Ent. (Kg/cm²)</i>	<i>Presión de Sal. (Kg/cm²)</i>	<i>Flujo (B/D)</i>
Nafta Hidrotratada	159.4	166.1	3.9	3	27000

- ❖ Con los datos de operación del Calentador a Fuego Directo BA-403, junto con los análisis del laboratorio de la carga se hizo la simulación en el ambiente Hysys determinando la carga térmica de éste. **(Simulación 4).**



Calentador a Fuego directo BA-404.

- ❖ Para la caracterización de la carga (Fondo de la Torre DA-402) se utilizaron los reportes de los análisis realizados por laboratorio de la curva de destilación mediante la norma ASTM D-86.

ASTM D-86	
Porcentaje de destilación (%)	Temperatura en °C
TIE	98
10%	109
50%	125
90%	151
95%	158
TFE	169

- ❖ Para la simulación se tomaron en cuenta las condiciones actuales de operación de la carga a la entrada del Calentador BA-404.

CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN					
	<i>Temperatura de</i> (°C)	<i>Temperatura de</i> (°C)	<i>Presión de Ent.</i> (Kg/cm ²)	<i>Presión de Sal.</i> (Kg/cm ²)	<i>Flujo</i> (B/D)
Nafta Hidrotratada	159.4	163.5	3.9	3	45000

- ❖ Con los datos de operación del Calentador a Fuego Directo BA-404, junto con los análisis del laboratorio de la carga se hizo la simulación en el ambiente Hysys determinando la carga térmica de éste. **(Simulación 5).**
- ❖ Se registraron los datos obtenidos de las cargas térmicas de los tres Calentadores a Fuego Directo comparándolos con las cargas térmicas de diseño y tomando en cuenta la carga térmica total que requieren los fondos de la Torre. **(Tabla 2)**





Ⓢ **Actividad 4.- Simulación del CAFD BA-404 introduciendo la carga total de los rehervidores de la Torre para determinar el Duty requerido.**

Procedimiento:

- ❖ La simulación se hará tomando en cuenta las condiciones actuales de temperatura y presión del CAFD BA-404.
- ❖ Se suministrará al BA-404 el total de la carga que se está calentando en ambos rehervidores que es de 72 000 B/D.
- ❖ La temperatura de salida de dicho Calentador será la misma con la que está operando actualmente que es de 163.5 °C.
- ❖ Obtendremos la carga térmica requerida para alcanzar la temperatura requerida para el proceso actual. **(Simulación 6)**

Ⓢ **Actividad 5.- Cálculo de la eficiencia del Calentador a Fuego Directo BA-401 en condiciones actuales de operación.**

Procedimiento:

- ❖ Se obtuvo el calor total absorbido por el fluido de proceso en condiciones reales de operación del BA-401 en la simulación. **(simulación 3).**
- ❖ Con el medidor de flujo de gas seco combustible se obtuvo lo que se está suministrando actualmente al Calentador BA-401.
- ❖ El valor del poder calorífico neto del combustible se obtuvo en los reportes de los análisis de laboratorio.
- ❖ Con todos estos datos se cálculo la eficiencia del BA-401. **(memoria de cálculo).**





© **Actividad 6.- Evaluación térmica de CAFD BA-401.**

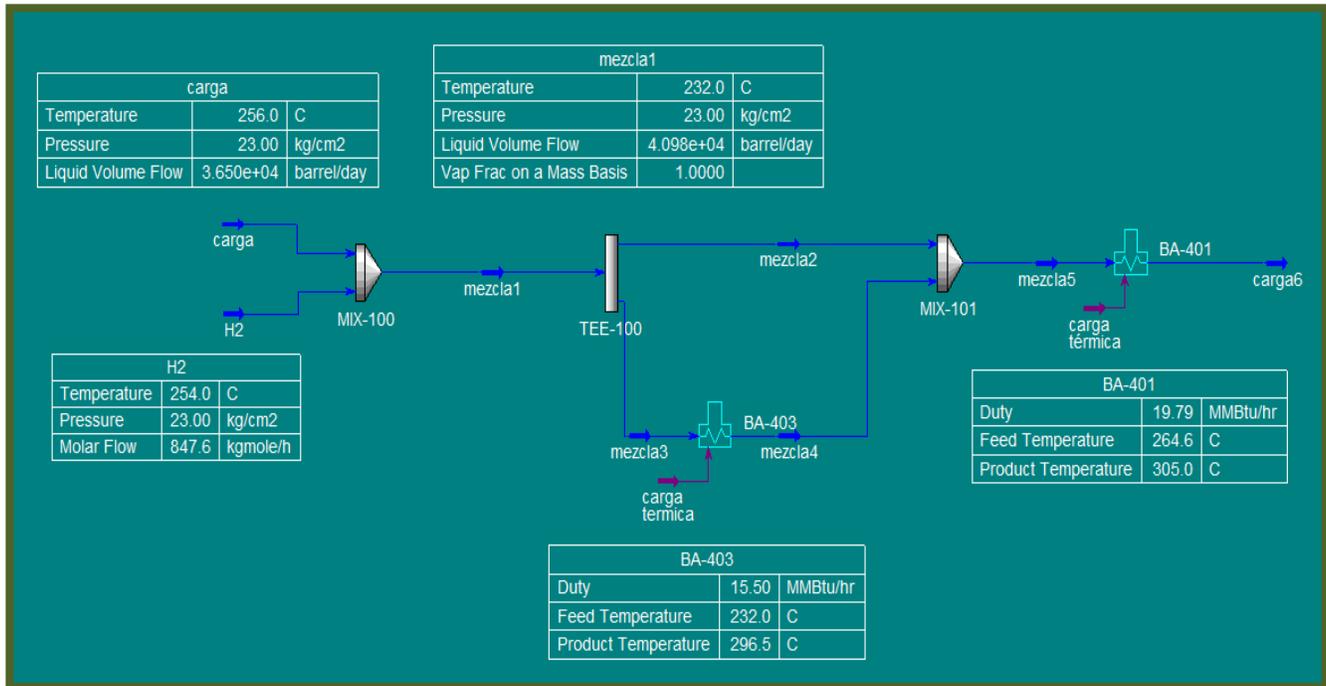
Procedimiento:

- ❖ Con los datos obtenidos en la simulación para determinar la carga térmica del CAFD BA-401 en condiciones reales de operación se hizo la evaluación térmica de este, identificándose si las condiciones actuales se encuentran dentro de los valores máximos de diseño especificados. (**Tabla 3**)

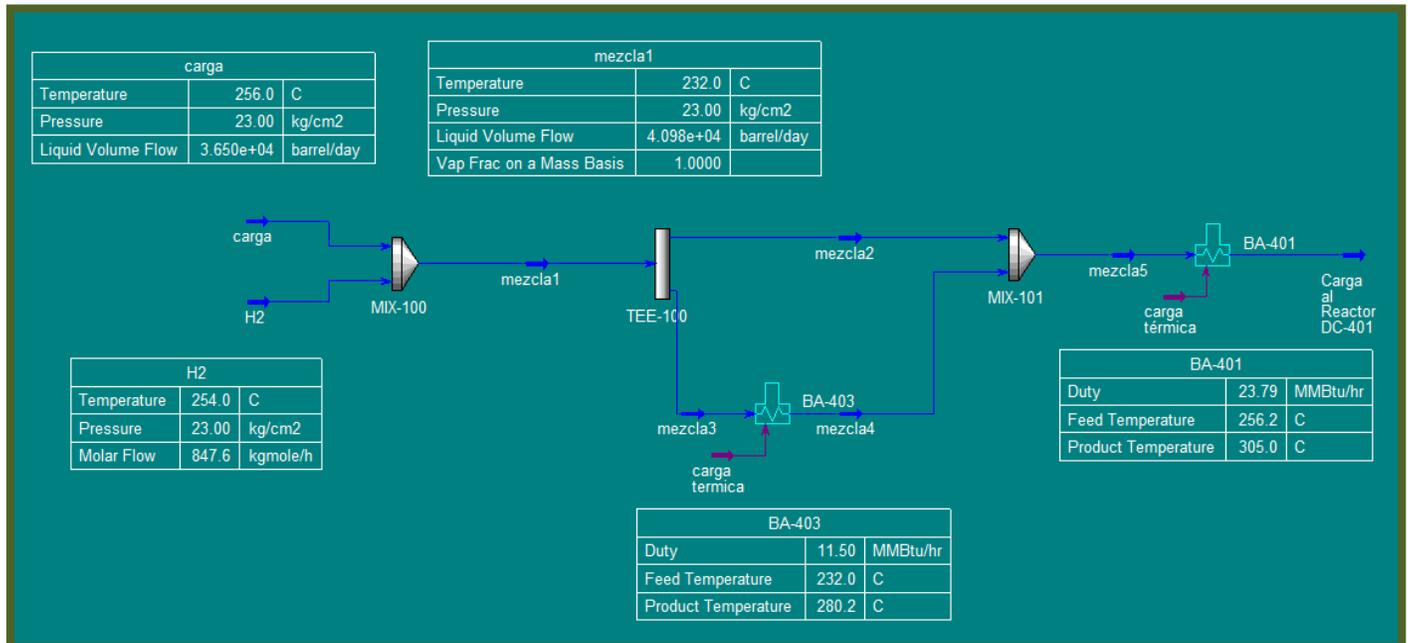


X.- RESULTADOS

Ⓢ **Actividad 2.- Simulación en Hysys para la implementación de un segundo Calentador a Fuego Directo a la sección de reacción.**



SIMULACIÓN 1



SIMULACIÓN 2



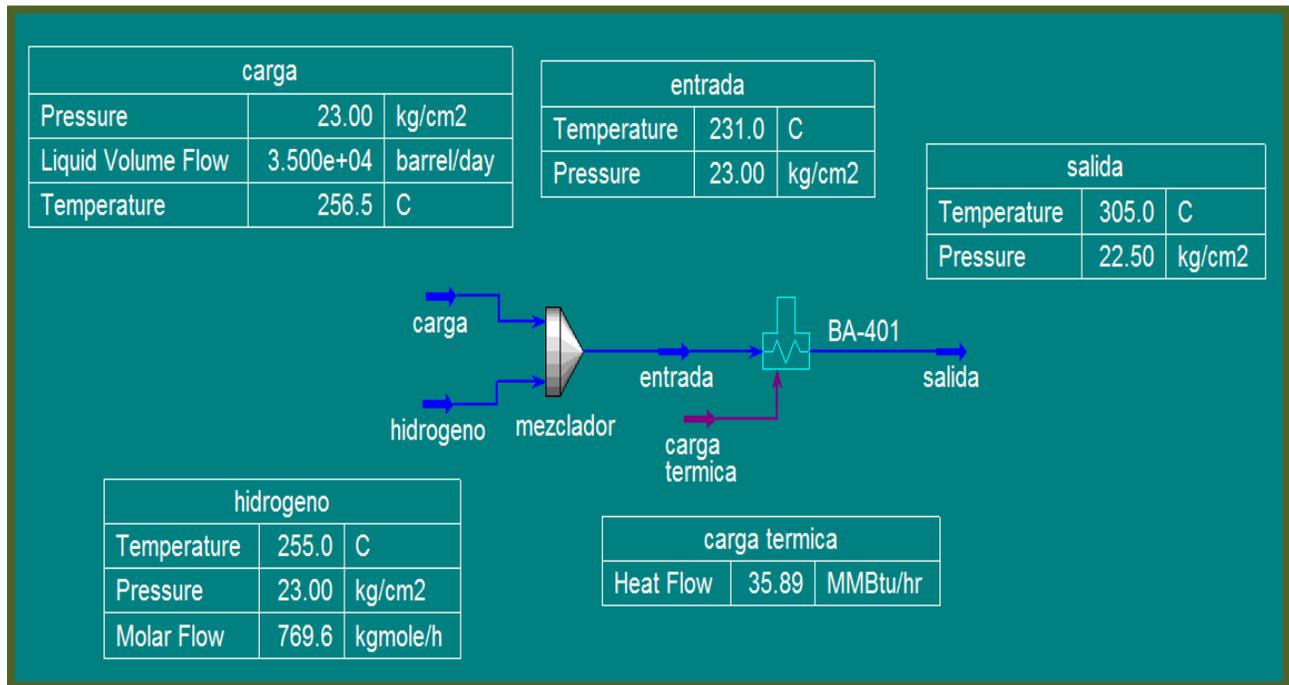
- ❖ Evaluación de la carga térmica del BA-401 después de la implementación del BA-403, y modificaciones de las cargas de éste en la simulación.

Evaluación de la carga térmica del BA-401 con la integración del BA-403						
<i>(Q) del BA-403 (MMBtu/h)</i>	<i>Temp. Sal. BA-403 (°C)</i>	<i>ΔT del BA-403 (°C)</i>	<i>(Q) del BA-401 (MMBtu/h)</i>	<i>Temp. Ent. BA-401 (°C)</i>	<i>Temp. Sal. BA-401 (°C)</i>	<i>ΔT del BA-401 (°C)</i>
15,5	296,5	64.5	19,79	264,6	305	40,4
14,5	292,5	60.5	20,7	262,5	305	42,5
13,5	288,4	56.4	21,79	260,4	305	44,6
12,5	284,3	52.3	22,79	258,3	305	46,7
11,5	280,2	48.2	23,79	256,2	305	48,8
10,5	276,1	44.1	24,79	254,1	305	50,9

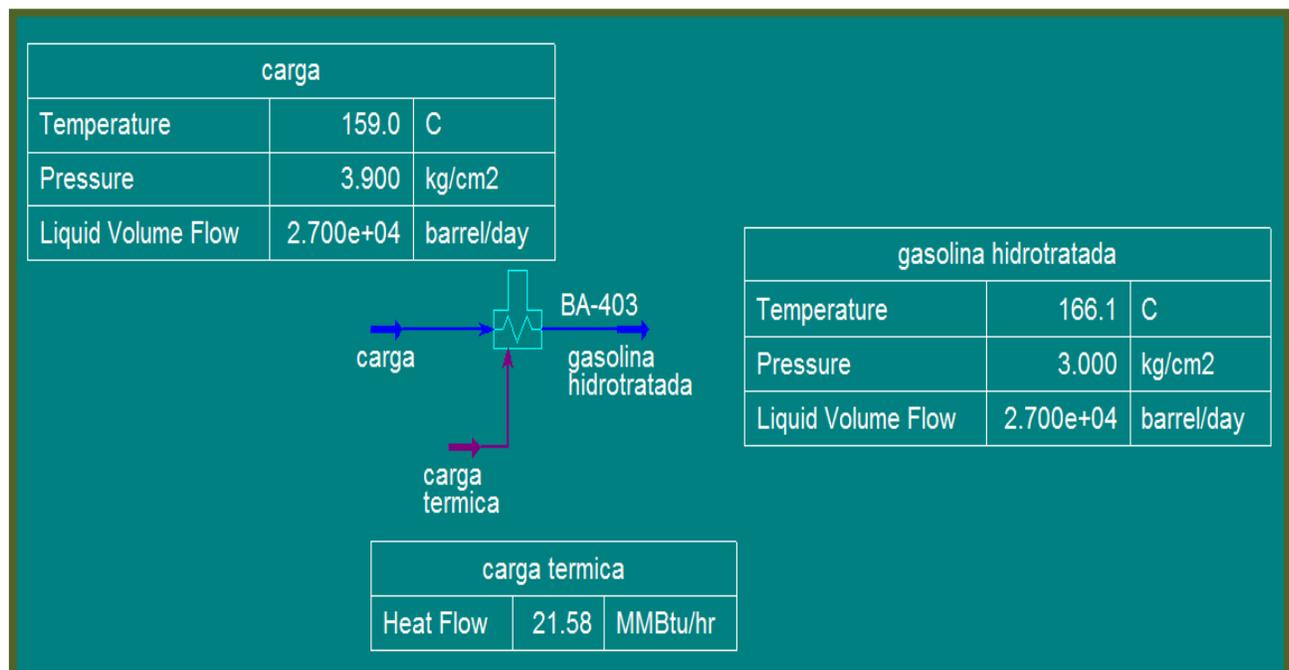
TABLA 1



Ⓢ **Actividad 3.- Simulación en Hysys para el cálculo de las cargas térmicas de los CAFD BA-401, BA-403 y BA-404 en condiciones reales de operación.**

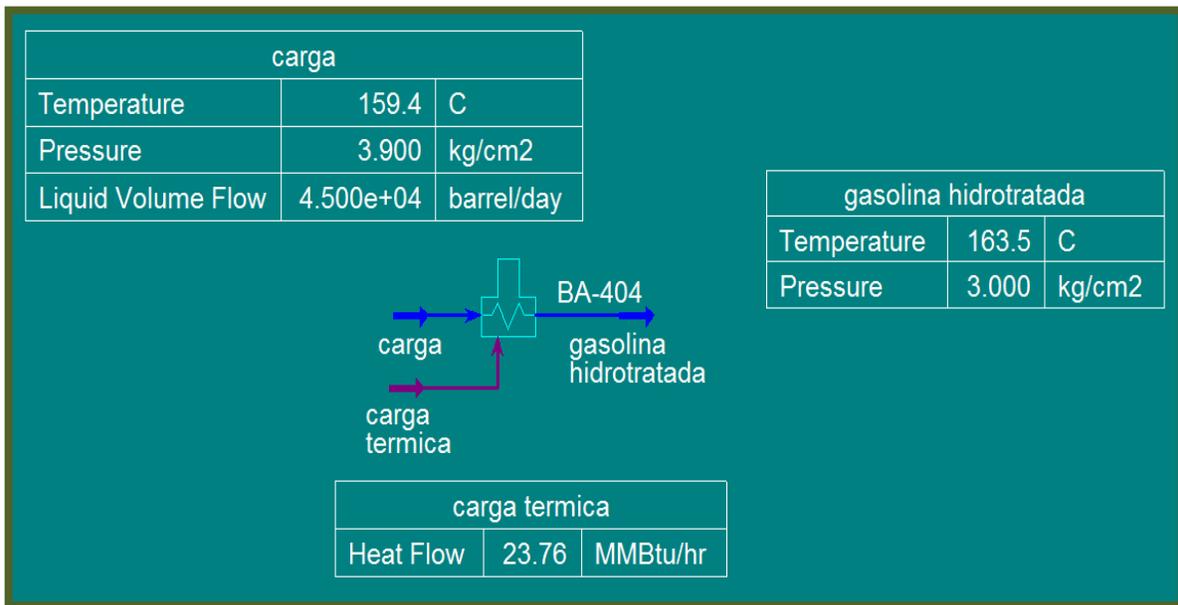


SIMULACIÓN 3.- Calentador a Fuego Directo BA-401



SIMULACIÓN 4.- Calentador a Fuego Directo BA-403





SIMULACIÓN 5.- Calentador a Fuego Directo BA-404

- ❖ Datos obtenidos de las cargas térmicas de los tres Calentadores a Fuego Directo comparándolos con las cargas térmicas de diseño y tomando en cuenta la carga térmica total que requieren los fondos de la Torre.

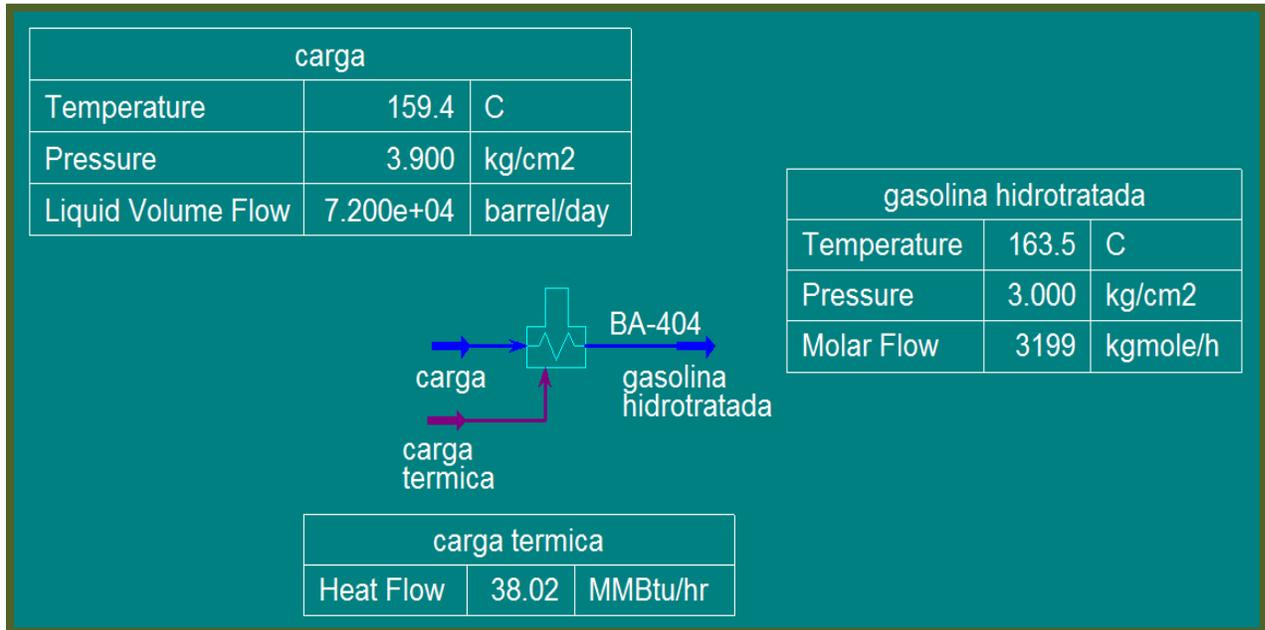
CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS DE LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO DE LA UNIDAD 400 DEL SECTOR HIDROS II EN CONDICIONES REALES							
	FLUJO B/D	TEMP. ENT. °C	TEMP. SAL. °C	PRESION ENT. Kg/cm ²	PRESION SAL. Kg/cm ²	DUTY MMBtu/hr	DUTY DE DISEÑO MMBtu/hr
BA-401	31 400	230	302	23	22.5	31.69	44.5
BA-403	27 000	159.4	166.1	3.9	3	21.58	20.5
BA-404	45 000	159.4	163.5	3.9	3	23.76	36.90
TOTAL BA-403 Y BA-404 =						45.34	

TABLA 2



La carga térmica necesaria en los rehedidores de la torre es de 45.34 MMBtu/hr, siendo el BA-404 el de mayor Duty de diseño, insuficiente para trabajar con un solo rehedidor.

© **Actividad 4.-** Simulación del CAFD BA-404 introduciendo la carga total de los rehedidores de la Torre para determinar el Duty requerido.



SIMULACIÓN 6.- Calentador a Fuego Directo BA-404

MEMORIA DE CÁLCULO

© **Actividad 5.-** Cálculo de la eficiencia del Calentador a Fuego Directo BA-401 en condiciones actuales de operación.

Cálculo de eficiencia:

$$\eta_T = \frac{Q_D}{Q_L} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecu. 1}$$





Donde:

$\eta_T =$ Rendimiento total del horno, entanto por ciento.

$Q_D =$ Calor total absorbido de diseño por el fluido de proceso y servicios adicionales (BTU/hr).

$Q_L =$ Calor total liberado por el combustible (BTU/hr)

Datos:

GAS COMBUSTIBLE	
Poder Calorífico Neto (PCN)	1010.45 Btu/ft ³
Flujo de combustible (\dot{V})	40 Mnm ³ /D
Q_D	35.89 MMBtu/hr

Tenemos que:

$$Q_L = (PCN) * (\dot{V}) \dots\dots\dots \text{Ecu. 2}$$

❖ Convertimos el flujo en ft³/ hr.

$$\dot{v} = 40,000 \frac{m^3}{\text{Día}} \left(35.31 \frac{ft^3}{1 m^3} \right) \left(\frac{1 \text{ Día}}{24 \text{ hrs}} \right) = 58.850 \frac{ft^3}{hr}$$

Sustituyendo la Ecu. 2:

$$\therefore Q_L = \left(1010.45 \frac{Btu}{ft^3} \right) \left(58.850 \frac{ft^3}{hr} \right) = 59.46 \text{ MMBtu/hr}$$

Sustituyendo la Ecu. 1:

$$\eta_T = \frac{35.89 \text{ MMBtu/hr}}{59.46 \text{ MMBtu/hr}} * 100 = 60.35 \%$$

La eficiencia del calentador BA-401 es de **60.35 %**





Ⓢ **Actividad 6.- Evaluación térmica de CAFD BA-401.**

En condiciones actuales de operación se puede decir que en el calentador BA-401 se destaca lo siguiente:

- ❖ El calor absorbido por la corriente de proceso es de 35.89 MMBtu/hr, valor que se encuentra dentro del valor máximo especificado por diseño.
- ❖ La diferencia entre las temperaturas de entrada y salida es de 74°C de 48 de diseño.
- ❖ La eficiencia del calentador es muy baja comparada con la de diseño especificada.

EVALUACIÓN TÉRMICA DEL CAFD BA-401 U-400 II			
VARIABLE	UNIDAD	DISEÑO	CONDICIÓN ACTUAL
			MAYO´2011
CARGA	B/D	36500	35, 000
H ₂ DE RECIRCULACIÓN	Mm ³ /D	----	436.7
PRESIÓN DE ENTRADA	(Kg/cm ²)	----	23
PRESIÓN DE SALIDA	(Kg/cm ²)	----	22.5
TEMPERATURA DE ENTRADA	°C	252	231
TEMPERATURA DE SALIDA	°C	300	305
DELTA (T)	°C	48	74
TEMPERATURA DE CHIMENEA	°C	361	319.2
DESHOLLINADORES OPERANDO	DESHOLLINADOR	18	14
QUEMADORES OPERANDO	QUEMADOR	12	12
PRESIÓN DE TIRO	"H ₂ O	- (0.05 a 0.1)	- 0.35
% APERTURA EN MAMPARA	%	20	45
CONSUMO DE GAS COMBUSTIBLE	m ³ /D	39,692	40
COMSUMO DE COMBUSTÓLEO	B/D	219	----
DUTY	MMBtu/h	44.5	35.89
EFICIENCIA	%	80.5	60.35



XI.- ANEXOS

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Calentador a fuego directo (CAFD).- Equipo por medio del cual se suministra calor producido por el quemado de combustibles, a una corriente de proceso y servicios adicionales.

Paso.- Un paso es el conjunto de tubos interconectados, a través del cual el fluido de proceso circula desde el cabezal de entrada hasta el cabezal de salida del CAFD.

Serpentín.- El serpentín es el conjunto de pasos, a través del cual el fluido de proceso circula desde el cabezal de entrada hasta el de salida del CAFD.

Cabezal.- Tubo principal de alimentación o salida del CAFD, a partir del cual se derivan o en el cual convergen los tubos que forman los pasos del CAFD.

Tubos de entrada.- El término “tubo de entrada” designa al primer tubo, a través del cual circula el fluido de proceso, después de entrar al CAFD. Así, por ejemplo, un calentador de dos pasos tendrá dos tubos de entrada.

Tubos de salida.- El término “tubo de salida” designa al último tubo a través del cual circula el fluido de proceso antes de abandonar el CAFD.

Tubo con superficie extendida.- Es un tubo que tiene una superficie externa adicional compuesta por pernos o aletas, cubriendo casi en su totalidad al tubo liso.

Tubo desnudo.- Se considera aquel tubo que no está cubierto por una superficie adicional. También se le llama tubo liso.

Sección de Radiación.- Es la sección de mayor volumen de un CAFD siendo ésta la parte donde ocurre la combustión del combustible.

Sección de convección.- Es la sección de un CAFD que tiene casi totalmente ocupado su volumen por tubos, ya sea desnudos o con superficie extendida, y la cual generalmente se encuentra montada sobre la sección de radiación.

Sección Escudo.- Son los tubos que se encuentran directamente sobre la trayectoria ascendente de los gases de combustión y que directamente ven a la





flama. Algunas veces pueden estar colocados en la parte superior de la sección de radiación o formar parte de la sección de convección.

Puente del calentador.- Es la parte del calentador que se encuentra entre la primera cama de tubos desnudos de convección y los últimos tubos de la zona de radiación. En esta parte los gases de combustión no ceden calor y por lo tanto mantienen su temperatura.

Tiro.- El tiro se refiere a la diferencia de presión existente entre la presión de los gases de combustión en el interior del CAFD y la presión atmosférica, dicha diferencia generalmente es negativa, (la presión interior menor que la atmosférica) lo cual permite “empujar” al aire, combustible y gases de combustión a través del CAFD. Normalmente se mide en pulgadas o (mm) de columna de agua.

Aire Teórico.- Es la cantidad de aire que se requiere estequiométricamente (de acuerdo a la ecuación de la reacción de combustión) para que se lleve a cabo una combustión perfecta.

Exceso de Aire.- Es el aire para la combustión, suministrado en exceso con respecto a la cantidad teóricamente requerida para una combustión completa. El exceso de aire normalmente se indica como un porciento de la cantidad de aire teórico requerido.

Eficiencia.- Es el resultado de dividir el calor absorbido por el fluido de proceso y servicios adicionales (si los hay), entre el calor liberado por el combustible.

Conexiones de servicio.- Son las conexiones por medio de las cuales se proporciona un servicio al CAFD, los cuales pueden ser de drenaje, vapor de barrido y vapor de apagado.

Compuertas y mamparas.- Dispositivos que se colocan generalmente dentro de ductos de gases de combustión y aire, permitiendo el paso de los mismos y regulando su flujo.

Chimenea.- Conducto que permite desalojar a la atmósfera, a los productos de la combustión, además de proveer el jalón o tiro suficiente para mantener circulando el aire y gases a través del calentador y la propia chimenea.

Pre calentador de aire (PA).- Equipo que permite transmitir parte del calor de los gases de combustión, al aire que será utilizado para la combustión, antes de ser enviados a la chimenea.





Ventilador.- Una máquina que sirve para lograr mover gases a través de ductos y otros equipos relativamente a bajas presiones.

Fluido de Proceso.- Fluido principal para el cual fue diseñado el CAFD. Circula normalmente en parte de la sección de convección y en todo el serpentín de la zona de radiación.

Fluido de servicio.- Es el fluido que se calienta únicamente en la zona de convección del CAFD; y tiene por objeto aprovechar el calor de los gases de combustión, que abandonar la zona donde se hallan los serpentines del fluido de proceso.





XII.- CONCLUSIONES

En el presente proyecto se propuso mejorar la optimización del CAFD BA-401 basada en la integración del rehervidor de fondos (BA-403) de la sección de fraccionamiento a la sección de reacción para ello se realizaron varias simulaciones en el ambiente Hysys, teniendo como resultado que al implementar este rehervidor disminuye favorablemente la carga térmica suministrada al BA-401.

Para demostrar que es factible dicha implementación se evaluó la carga térmica que actualmente se está suministrando a los dos rehervidores de la Torre obteniendo un total de 45.34 MMBtu/hr.

Tomando en cuenta que el rehervidor con mayor Duty de diseño es el BA-404 con 36.90 MMBtu/hr se realizó otra simulación para determinar la carga térmica que se requiere para alcanzar la temperatura de salida que se maneja en el proceso si se le suministra a dicho rehervidor toda la carga del proceso a calentar que es de 72 000 B/D, obteniéndose que es necesario un suministro de energía de 38.02 MMBtu/hr, si dicho Calentador cuenta con un Duty máximo de diseño de 36.90 MMBtu/hr como se menciono anteriormente, se puede concluir que la propuesta de implementar el CAFD BA-403 no es factible debido a que al dejar con un solo rehervidor a la Torre y se suministra toda la carga del proceso al rehervidor BA-404 éste trabajará muy forzado.

Se realizó la evaluación del Calentador a Fuego Directo BA-401 notándose que éste está trabajando actualmente con una eficiencia muy baja de 60.35% siendo 80.5 la de diseño y una diferencia de temperaturas elevada de 74 °C siendo 48 °C la de diseño, por lo cual se hace la recomendación de evaluar el tren de precalentamiento.





BIBLIOGRAFÍA

- Ⓒ *Diseño de equipos e instalaciones. Tema 8, Hornos y Calderas (Fired Heaters).*
- Ⓒ *Documento descriptivo del Sector Hidros-Reformadora II*
- Ⓒ *Instituto Mexicano del Petróleo. Manual de datos de proceso de la Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas No.2 (U-400). Salina Cruz Oaxaca. 1982.*
- Ⓒ *Instituto Mexicano del Petróleo. Manual de datos de proceso de la Unidad Hidrodesulfuradora de Destilados Intermedios (U-700 y U-800). Salina Cruz Oaxaca.*
- Ⓒ *Instituto Mexicano del Petróleo. Manual de datos de proceso de la Unidad Reformadora de Naftas No.2 (U-500). Salina Cruz Oaxaca.*
- Ⓒ *Instituto Mexicano del Petróleo. Manual de datos de proceso de la Unidad Regeneradora de Catalizador. (U-200). Salina Cruz Oaxaca.*
- Ⓒ *Instituto Mexicano del Petróleo. Manual de datos de proceso de la Unidad Tratadora y Fraccionadora de Hidrocarburos No.2 (U-600). Salina Cruz Oaxaca.*
- Ⓒ *Instituto Mexicano del Petróleo. Manual de datos de proceso de la Unidad Isomerizadora de Pentanos y Hexanos (U-900). Salina Cruz Oaxaca.*
- Ⓒ *Instituto Mexicano del Petróleo. Manual de operación de la Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas II del Sector Hidros-Reformadora II. Salina Cruz Oaxaca. 1997.*
- Ⓒ *Instituto Mexicano del Petróleo. Diseño Térmico de Calentadores a Fuego Directo. Ref. Salina Cruz Oaxaca. 1984.*





- © Instituto Mexicano del Petróleo .Manual de operación y mantenimiento del Calentador a Fuego Directo BA-401.Calentador de Carga a la Unidad Hidrodesulfuradora de Naftas No.2. Salina Cruz Oaxaca.1990.

