



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "CUAUTITLÁN"

CRITERIOS DE SELECCION DE UN HORNO DE  
ACEITE DE CALENTAMIENTO PARA SU  
INSTALACION EN UNA PLATAFORMA  
MARINA DE COMPRESION DE GAS

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
JAIME EDUARDO CISNEROS SALDAÑA

Director de Tesis: Ing. Eduardo Salas Córdoba

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1985



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# INDICE DE CONTENIDO

	PAG.
RESUMEN	4
1. INTRODUCCION	6
2. GENERALIDADES	8
2.1 Plataforma Marina de Compresión	18
2.2 Localización de la Plataforma Marina de Compresión	23
2.3 Equipo Principal	32
2.4 Proceso y Algunos Servicios Auxiliares	36
2.4.1 Proceso de Compresión de Gas Amargo	37
2.4.2 Proceso de Deshidratación del Gas Amargo	41
2.4.3 Proceso de Endulzamiento del Gas Combustible	46

	PAG.
2.4.4 Servicios Auxiliares, Aceite de Ca-	57
lentamiento para Gas - Dietilengli-	
col (DEG), Dietalonamina (DEA).	
3. DATOS DE OPERACION	58
4. CRITERIOS GENERALES PARA CALCULO DE LOS CALENTA-	61
DORES A FUEGO DIRECTO.	
4.1 Clasificación y Tipo de Calentadores a Fuego	71
Directo y su Tipo de Alimentación	
4.2 Criterios de Prediseño	74
4.3 Algunas Evaluaciones Técnicas de la Sección	
de Radiación	88
4.4 Quemadores	89
4.4.1 Selección del Número y Tamaño de los	91
Quemadores	
4.4.2 Cálculo de la Chimenea	94
4.5 Refractarios y sus Aplicaciones	98

	PAG.
5. OPERACION E INSPECCION	103
6. SELECCION DE LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO PARA UNA PLATAFORMA MARINA DE COMPRESION DE GAS	110
6.1 Dimensionamiento del Horno	113
6.2 Eficiencia del Horno	124
6.3 Costo Estimado	129
6.4 Confiabilidad y Mantenimiento Preventivo	134
7. CONCLUSIONES	137
BIBLIOGRAFIA	141

## R E S U M E N

El presente trabajo tiene como objetivo primordial, dar a conocer al Ingeniero de Diseño los criterios básicos para el diseño de los calentadores a fuego directo, el cual tiene un papel principal en el proceso de compresión de gas en las diferentes plataformas marinas.

El Capítulo 2, a manera de introducción, se plantea brevemente qué es una Plataforma Marina de Compresión de Gas, su localización, el equipo que requiere para la compresión del gas y la importancia que tiene el horno para los procesos de deshidratación y endulzamiento del gas amargo.

En el Capítulo 3, se hace mención a los datos de proceso, composición del aceite y del combustible que se manejan, en especial en una plataforma de compresión de gas.

En el Capítulo 4, se proporciona una explicación de las características generales de los calentadores a fuego directo, donde se involucra lo más esencial, como es el tipo de alimentación, cómo se evalúa la sección radiante, tipo de quemador, refractarios y chimeneas, etc.

El Capítulo 5 trata en forma general cómo se realiza la inspección antes y después de puesto en operación el horno.

En el Capítulo 6 se indican algunos criterios de selección, tanto de aspectos económicos como de mantenimiento, y una secuencia de cálculo para su eficiencia y tamaño del horno.

Finalmente, se dan las conclusiones obtenidas como resultado de este trabajo.

## 1.- INTRODUCCION

En la mayoría de los procesos de extracción del petróleo se requiere suministrar altas temperaturas, y una de ellas son mecanismos por medio de radiación, donde se transfiere calor de una parte a otra del sistema. Por tal motivo, es de primordial importancia diseñar un equipo que esté encaminado a operar a cierta temperatura y producir los efectos que se desean.

La transferencia de calor por radiación en general no puede considerarse de manera aislada, debe acoplarse con los mecanismos de transferencia adicionales de conducción y convección, junto con la liberación de calor por reacción química y la predicción general de flujo en un sistema encerrado.

Una de las aplicaciones más importantes de la transferencia de calor radiante, se encuentra en el diseño y selección de los calentadores a fuego directo usados en las refinerías y explotación del petróleo. El arte de la construcción de estas unidades se desarrolló antes que la teoría y se realiza por métodos empíricos. La contribución de varios investigadores a los problemas de transferencia de calor, tanto específicos como generales, han hecho posible que el diseño de estos equipos se realicen a partir de bases más fundamentadas. En la actualidad, se cuentan con métodos semiteóricos para --

su cálculo, en breve se mencionará algunos de los aspectos claves para que el ingeniero de diseño tenga una guía para su selección e instalación en una plataforma marina.

## 2. GENERALIDADES

El recurso más importante con que cuenta nuestro país es la explotación del petróleo y del gas natural. Actualmente, se encuentran en la Sonda de Campeche las instalaciones más importantes para el aprovechamiento de ese recurso.

Se ha construído en los últimos años un gran sistema que va desde los campos marinos hasta los centros de procesamiento y distribución. El desarrollo de la Sonda de Campeche no tiene precedente ni comparación en ninguna parte del mundo - donde se han realizado construcciones marinas, se menciona - que es el descubrimiento más significativo que se ha realizado a nivel mundial.

El programa de desarrollo de la Sonda de Campeche fue un proyecto dirigido por Petróleos Mexicanos, que comprende: - Desarrollo de Campos Petroleros Marinos, Sistema de Tuberías Submarinas de Interconexión, dentro de los campos y entre los mismos, así como las instalaciones de proceso final en tierra (como la terminal marítima de Dos Bocas que servirá de apoyo para las subsecuentes construcciones y operaciones, tanto en mar como en tierra, abastecimiento de materiales, almacenaje, embarque de crudo y proceso de productos petrolquímicos).

En la Sonda de Campeche se encuentra el yacimiento Cantarell

que comprende principalmente los Campos Akal "C", Akal "J", Nohoch, Ixtoc, Abkatún, Ku. Pol y Bacab, cuyas extensiones - no se conocen con exactitud. En el Campo Cantarell se han - probado reservas de hidrocarburos de 20,000 millones de ba-- rriles.

En 1972 se iniciaron estudios muy amplios de geofísica, - geotécnica, gravimetría, magnetometría y sismología marina, estos trabajos, en un área de 700 km<sup>2</sup> revelaron: 60 estructu ras bien definidas con posibilidades de contener hidrocarbu ros.

En 1977 se terminaron otros pozos en Akal y Bacab, estos campos se encuentran a 6 km y 25 km al noroeste de Chal, y - presentan formaciones productivas que varían en profundidades de 1200 m a 3100 m, ese mismo año se encontraron hidrocarbu ros en Abkatún 1 a profundidades de 700 m. Dentro de las -- investigaciones realizadas se corroboró que el Campo Abkatún contenía grandes reservas de gas y petróleo.

Las plataformas de producción se diseñaron para recibir - crudo de 7 ó 12 pozos productores direccionales cada una. - Tienen una profundidad de menos de 1500 m. y explotan un área productiva que cubre alrededor de 1300 m<sup>2</sup>.

El desarrollo de los campos marinos requiere de alta tec-

nología, se han efectuado estudios de factibilidad, económicos, geofísicos y geotécnicos; diseño conceptual del proyecto, de sus áreas, de una Ingeniería Básica y de Detalle de todas las estructuras marinas (Tabla 1).

#### ESTRUCTURAS MARINAS DE LA SONDA DE CAMPECHE

T I P O	DISEÑADAS E INSTALADAS
Plataformas de Producción, Compresión y Enlace.	23
Plataformas de Perforación.	47
Plataformas Habitacionales.	6
Plataformas de Comunicación.	2
Plataformas de Bombeo.	2
Plataforma de Estabilización.	1
	T O T A L <u>81</u>

T A B L A    1

En lo que respecta a Tuberías Submarinas, se ha diseñado un sistema integral de recolección y transporte de petróleo y gas. Este red de oleoductos, gasoductos e interconexiones recoge el producto de las plataformas de perforación, producción y compresión que se encuentran localizados en la Sonda - y lo transporta a las instalaciones en tierra por medio de -- dos líneas de 91 cm. de diámetro, revestidas de concreto.

En diciembre de 1979 se alcanzó la cifra de 239,720 B/d, al primer trimestre de 1980, ya existía una producción de más de 500,000 B/d; en octubre de ese mismo año 880,000 B/d y en diciembre alcanzó una producción de 1'643,000 B/d.

La producción mexicana de crudo se elevó de 2'312,144 B/d en 1981, a 2'746,383 B/d en 1982, lo que significa un incremento de 18.8 %.

México ha logrado en campeche, metas de producción de - crudo nunca antes alcanzadas en el mundo. Ahí están localizados los pozos más productivos en el mar.

Para la explotación del petróleo y el gas natural costa afuera, se utilizan las llamadas plataformas marinas, las cules pueden estar construídas de acero o de concreto, pudiendo identificar dos grandes grupos de plataformas marinas:

- a) Plataformas Marinas Flotantes
- b) Plataformas Marinas Fijas

a) Las plataformas marinas flotantes, son instalaciones que no se fijan permanentemente al lecho marino, sino solamente temporalmente mediante anclas y para volúmenes de explotación muy bajos y se pueden clasificar en:

- a.1 Plataformas Semisumergibles

a.2 Plataformas o Buques Flotantes

a.3 Plataformas Autoelevables

a.1 El objeto que se persigue en el diseño de estas unidades es el de reducir a un mínimo los efectos de oleaje en los trabajos de perforación.

a.2 Algunos de estos equipos se siguen operando hasta la fecha. Las instalaciones sobre el buque de la torre de perforación, la mesa rotatoria y la abertura de perforación no presenta mayor dificultad. La variedad de estos tipos de barcos de perforación es muy grande, pero todos ellos presentan las líneas clásicas e instalaciones propias de un barco.

a.3 La unidad móvil auto-elevable es un tipo de instalación cuya utilización es muy extensa, en la actualidad las construcciones se han modificado apreciablemente a fin de que pueda operar a profundidades mayores y bajo condiciones más difíciles. La plataforma, sobre la que se encuentra montada la torre de perforación, es construida en forma de balsa y contiene varias cubiertas dispuestas una encima de otra, todo el equipo necesario para la perforación así como la planta de fuerza, almacenes, campamentos, etc.

Las unidades auto-elevables trabajan actualmente a profundidades de alrededor de 100 m., sin embargo, se está tratando de adaptarlas para que puedan operar a profundidades aún mayores.

b) Las Plataformas Marinas Fijas, son instalaciones - que se fijan al lecho marino y son apropiadas cuando los volúmenes de explotación son importantes y las profundidades - de agua no son muy grandes. se clasifican en:

- b.1 Plataforma Marina Tipo Torre Arriostrada o atirantada con cables.
- b.2 Plataforma Marina Tipo Plotante con Piernas a Tensión (TLP).
- b.3 Plataforma Marina de Concreto Tipo Gravedad.
- b.4 Plataforma Marina de Acero Tipo Convensional.

b.1 Este tipo de plataforma está indicada para usarse a profundidades de agua entre 305 y 584 mts. (fig. b.1).

b.2 Esta plataforma es la indicada para aplicaciones - entre 584 y 914 mts. de profundidad, debido a que la torre atirantada se convierte en demasiado voluminosa para usos prácticos (fig. b.2).

Fig. b.2 Tipo Flotante con  
Piernas a Tensión  
(TLP)  
( a )

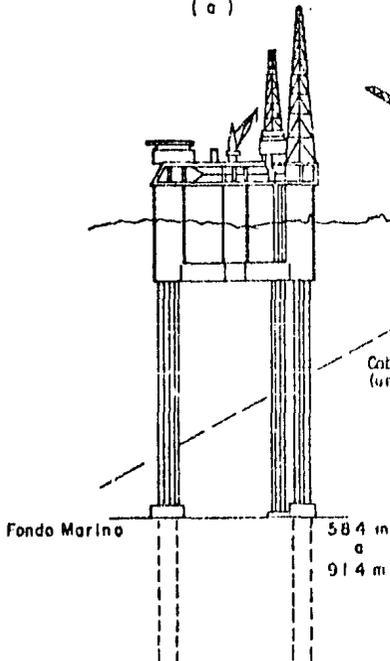
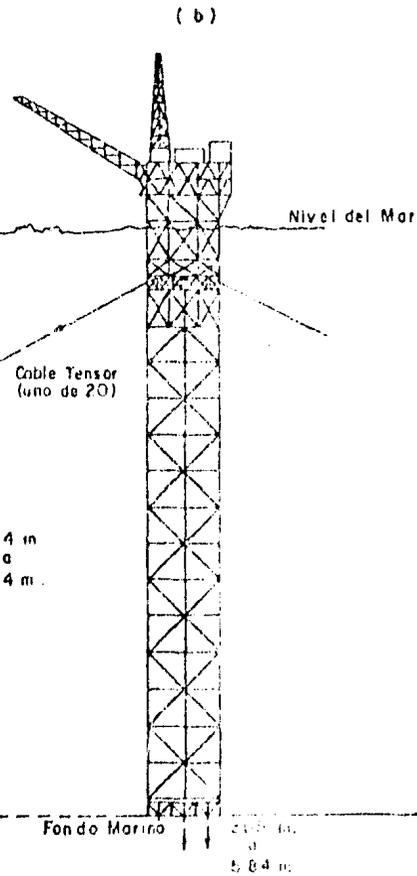


Fig. b.1 Tipo Arriestrada o Afrontada  
con Cables  
( b )



- b.3 Debido al enorme peso de estas estructuras es por sí - solo suficiente para resistir el ataque de los elementos. Las fuerzas ascensionales producidas por su volumen son reducidas mediante el lastrado (fig. b.3).
- b.4 Este tipo de plataforma consta principalmente de tres portes: subestructura, superestructura y pilotes. (fig. b.4).

La configuración de la subestructura es la de una torre triangulada, donde las piernas están unidas con miembros tubulares colocados horizontal y diagonalmente entre las piernas, arreglados en forma triangular con la finalidad de obtener un mejor comportamiento estructural. La subestructura se protege con ánodos de sacrificio fijados en los miembros tubulares, y así mismo descansa en el fondo marino.

Mediante el hincado de pilotes de tubería, cuya función es la de soportar y transmitir las cargas productivas - sobre la superestructura por carga muerta, carga viva, viento, oleaje, corriente, marea, sismo, etc. al subsuelo marino.

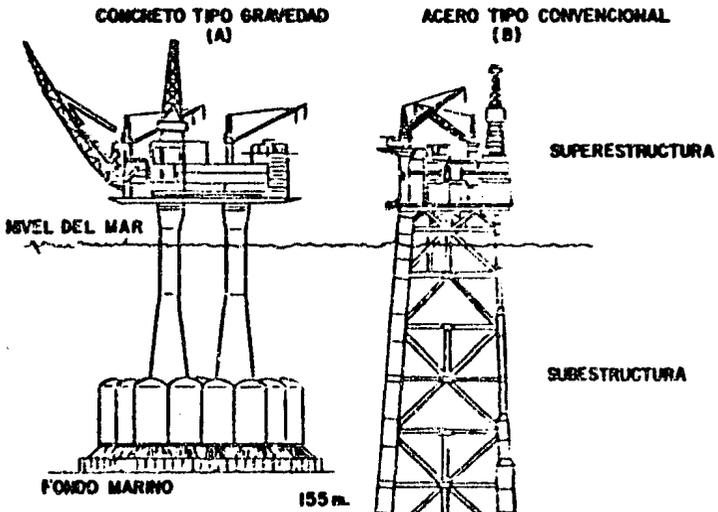


FIG. b.3 PLATAFORMA MARINA DE CONCRETO TIPO GRAVEDAD

FIG. b.4 PLATAFORMA DE ACERO TIPO CONVENCIONAL

La superestructura es donde se encuentran todas las instalaciones de proceso, servicios y habitación.

Actualmente, se trabaja en los campos abkatún, Akal "C", Akal "J", Nohoch, Ku y Pol; y la forma de explotación se realiza mediante un arreglo tipo para estos campos, en donde se instalan una serie de plataformas periféricas que convergen al núcleo central, llevando o trayendo flujo, según el sistema de ductos establecido.

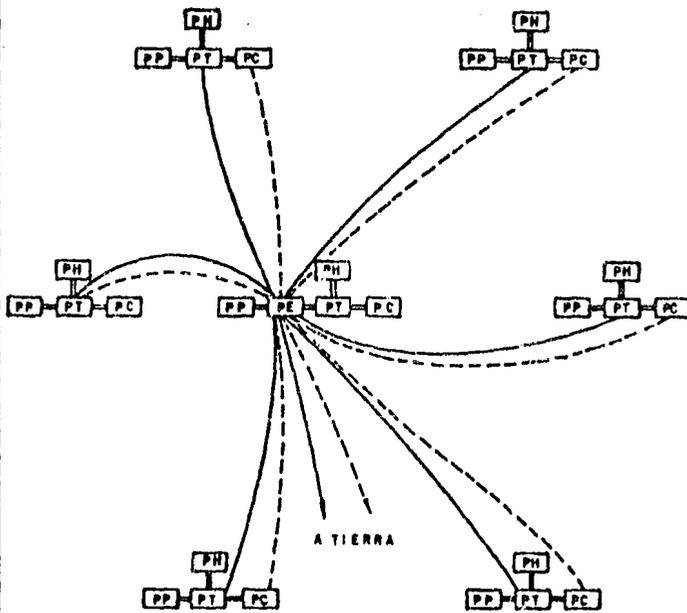
Los diversos tipos de plataformas que están instaladas en la Sonda de Campeche son:

Plataforma de Perforación (P.P.)  
Plataforma de Producción Permanente (P.P.P.)  
Plataforma de Producción Temporal (P.P.T.)  
Plataforma de Enlace (P.E.)  
Plataforma de Compresión (P.C.)  
Plataforma Habitacional (P.H.)

Como Plataformas de Respaldo tenemos:

Plataformas de Inyección de Agua (P.I.A.)  
Plataforma de Tratamiento de Agua (P.T.A.)  
Plataforma de Rebombeo (P.R.)

ARREGLO TIPOICO DE UN COMPLEJO DE PLATAFORMAS  
EN UN CAMPO DE EXPLOTACION



PC- PLATAFORMA DE COMPRESION  
 PE- PLATAFORMA DE ENLACE  
 PH- PLATAFORMA HABITACIONAL  
 PP- PLATAFORMA DE PERFORACION  
 PP- PLATAFORMA DE PRODUCCION TEMPRANA  
 ——— OLEODUCTO  
 - - - - GASODUCTO

A continuación se describen brevemente sus funciones:

NOMBRE DE LA PLATAFORMA	OBJETIVO Y FUNCION
Perforación	Perforar y extraer el crudo de los pozos productores, para enviarlo a las plataformas de producción.
Producción	Separar el crudo, el gas y el agua mediante una batería de separadores.
Enlace	Recibir y reunir las corrientes de crudo y/o gas de otros campos periféricos. <sup>1</sup>
Compresión	Comprimir y acondicionar el gas a fin de enviarlo a las instalaciones en tierra para su aprovechamiento.

1 NOTA: Los campos periféricos se mencionan más ampliamente en el capítulo siguiente.

Inyección de Agua y Tratamiento de Agua	Acondicionar y bombear a alta presión el agua de mar que se inyecta a los yacimientos, con el fin de aumentar la recuperación de hidrocarburos y mantener alta productividad en los pozos.
Rebombeo	Aumentar la capacidad de transporte de crudo de un oleoducto ya instalado.

Entre las instalaciones realizadas en mar, el complejo Abkatún es uno de los importantes, está constituido por una plataforma de perforación, dos plataformas de producción (una permanente y una temporal), una plataforma de enlace, una plataforma de compresión y una habitacional, comunicadas entre sí mediante puentes unidos a una plataforma de apoyo (te trapodo).

De esta variedad de plataformas, la más compleja es la de compresión, por su tamaño y el tipo de equipo que requiere.

México cuenta actualmente con algunas de las de mayor capacidad a nivel mundial, entre las obras que forman parte del sistema de la Sonda de Campeche se encuentra la Plataforma -

Marina de Compresión de Gas Abkatún 1A y la Estación Terrestre ATASTA; la primera de estas instalaciones está localizada a 90 kilómetros mar adentro y la segunda de la costa, a 96 kilómetros de Ciudad Pemex, Tabasco.

## 2.1 Plataforma Marina de Compresión

Dentro de nuestro sistema existen 4 plataformas de compresión de Gas: Akal "C", Akal "J", Abkatún y Pol. La de Abkatún es, sin duda, la que más destaca entre las instalaciones de explotación, por ser una de las instalaciones más desarrolladas.

Su función principal es suministrar al gas la presión necesaria para su transporte, así como su acondicionamiento: por ejemplo, el endulzamiento del gas amargo. El gas comprimido se envía a las corrientes de las plataformas de enlace de gas.

Para comprimir el gas dulce se cuenta en la plataforma con 4 módulos de compresión, siendo la capacidad total de compresión de 360 millones de pies cúbicos por plataforma.

Los módulos de compresión, permiten aprovechar el 98% del gas natural, lo que evita quemarlo a la atmósfera. Los primeros módulos fueron colocados en el complejo Akal "C" en -

noviembre de 1981.

El funcionamiento de los módulos de compresión es el siguiente:

Se alimentan dos corrientes de gas: una de baja y otra de alta presión, provenientes de la plataforma de separación (enlace).

El gas de baja presión (B.P.) ( $1.7 \text{ kg/cm}^2$ ), se alimenta a un compresor axial, en donde se eleva hasta  $6.8 \text{ kg/cm}^2$  que se requieren para mezclarlo con el gas de alta presión.

El flujo total de gas pasa por un enfriador y se recibe en un separador tipo filtro, en donde se eliminan los líquidos formados por el enfriamiento. El gas obtenido en el separador se alimenta entonces a la etapa de compresión de alta presión (A.P.).

La compresión alta, a su vez, se lleva a cabo en dos etapas, con interenfriamiento y separador de condensados. En la primera etapa se eleva la presión del gas de  $6.8$  a  $31 \text{ kg/cm}^2$  y en la segunda etapa alcanza hasta los  $82 \text{ kg/cm}^2$ .

Los condensados obtenidos en los separadores de los módulos de compresión retornan a la plataforma de separación de -

crudo y gas. En el primero y segundo separador, se tiene agua amarga aceitosa, la cual se envía a tratamiento para eliminar el aceite y los gases ácidos que contiene antes de reintegrarla al mar.

El gas obtenido se divide en dos corrientes; una de ellas se remite a endulzamiento para eliminar el contenido de gases ácidos y utilizarse posteriormente como combustible en la misma plataforma de compresión; la otra parte es dirigida al gasoducto de la plataforma de enlace para su envío final a tierra, previa deshidratación.

## 2.2 Localización de Plataformas Marinas de Compresión de Gas

Hoy en día, la problemática de los energéticos y la demanda creciente de bienes y servicios que la industria se ve obligada a satisfacer, ha inducido al hombre a buscar y extraer recursos naturales fuera de tierra firme.

En la última década, se han elaborado estudios geofísicos y geotécnicos en la plataforma continental que rodea la península de Yucatán, que cubre una superficie de 170 mil km<sup>2</sup>, y se extiende, sobre todo, al norte y noroeste de la península. Comprende las tierras emergidas que se encuentran aproximadamente a 200 metros de profundidad y a 200 km. de la costa (Fig. 2.2.1).

La mayor parte de esta plataforma ha sido explorada sísmológicamente, habiéndose estudiado en forma cuidadosa 8 km<sup>2</sup> en el sureste del Golfo de México frente a las costas de Campeche, y como resultado de estas exploraciones se descubrió un importante complejo de campos productores de petróleo crudo, con yacimientos formados de rocas de gran espesor y porosidad.

Se encuentran actualmente en desarrollo, una área de 700 kilómetros cuadrados, donde se localizan los siguientes campos:

Akal, Nohoch, Abkatún, Ixtoc, Ku, Chuc, Pol, Pich y Yum

Los trabajos de exploración, confirmación y perforación se efectúan con 17 equipos marinos y 4 barcasas perforadoras.

Como resultado de la alta productividad de los pozos, - ubicados en los campos del Golfo de Campeche y el ritmo de - construcción e instalación de la infraestructura fue tan acelerado que provocó inconvenientes no previstos, tales como:

- a) Crecimiento desordenado
- b) Concentración excesiva de las instalaciones de proceso.



Con el propósito de evitar los inconvenientes mencionados, se formuló un marco normativo que establece un modelo de desarrollo ordenado y garantice la seguridad en las instalaciones marinas, y además permita optimizar los recursos humanos, financieros y materiales, bajo cualquier ritmo de crecimiento requeridos por Petróleos Mexicanos (fig. 2.2.1).

El modelo de desarrollo establece las acciones a seguir para explotar un campo a partir de que se confirma la existencia de hidrocarburos en un pozo exploratorio, y permite efectuar un análisis de los factores que rigen el proceso para lograr la incorporación oportuna de la producción de los campos.

El complejo PCH es un conjunto de plataformas unidas por un puente que permite procesar el crudo y el gas. Está constituido por las plataformas de Producción (P), Compresión (C) y Habitacional (H) (fig. 2.2.2).



Fig. 2.2.2. Complejo periférico (a) y Complejo periférico Central (b)

Conjunto de Plataformas unidas por puente, procesa crudo y gas.

P	Plataforma de Producción	C	Compresión
H	Habitacional	≡	Puente
⊗	Perforación	E	Enlace
Δ	Quemadores		

Dependiendo de su función y localización, se divide en:

- a) Complejo Periférico (C.P.)
- b) Complejo Central (C.C.)

El Complejo Periférico (fig. 2.2.2.a) consiste de una plataforma de perforación y un FCH separado 100 metros de la primera.

El Complejo Central cuenta con los mismos elementos que el Periférico, pero incluye fundamentalmente una plataforma de enlace separada 100 metros de las de Producción y Perforación (fig. 2.2.2.b).

Estos complejos parten de un Complejo Central o una célula de desarrollo (fig. 2.2.3).

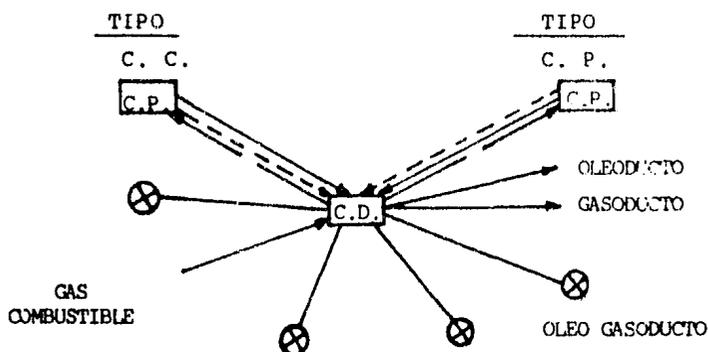


Fig. 2.2.3. Célula de Desarrollo

Se entiende por una célula de desarrollo, el arreglo de instalaciones que partiendo de una distribución de plataformas de perforación en hexágono, cuenta con un número definido de complejos periféricos conectados al complejo central - mediante ductos submarinos.

La fig. 2.2.4 muestra la instalación de un PCII en la segunda plataforma de perforación, formando así un complejo periférico y completando una célula compuesta de cinco plataformas de perforación, un complejo central y un complejo periférico.

La línea de uso múltiple (L.U.M.) es aquella que puede - ser utilizada indistintamente, como oleogasoducto, oleoducto o gasoducto.

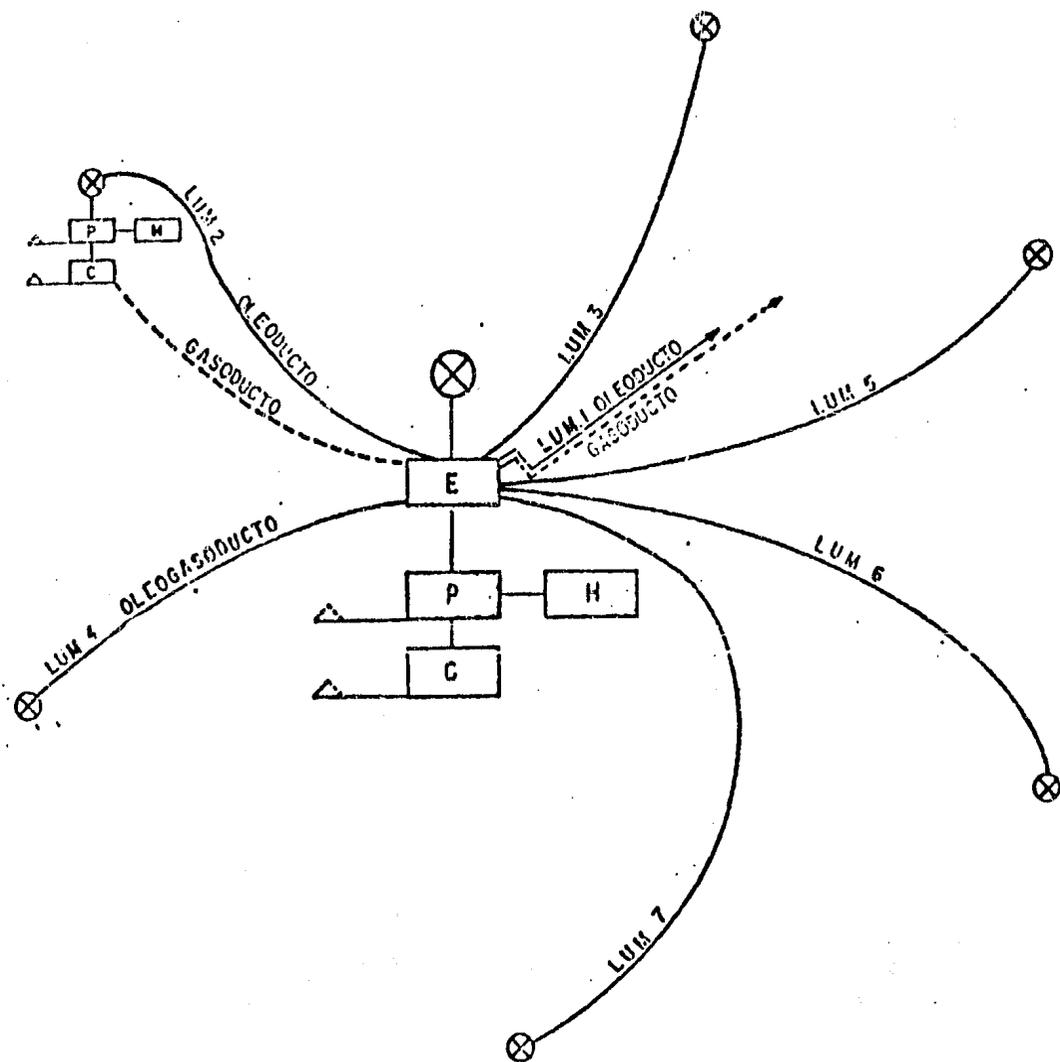


Fig. 2.2.4 Instalación de un PCH en la Segunda Plataforma.

Por último, en la fig. 2.2.5 se presenta un ejemplo de un posible esquema de instalaciones para cuatro células de desarrollo al hacer la explotación de los tres campos.

El campo I está desarrollado en base a una célula, con un complejo central y seis plataformas de perforación. El campo II está explotado por un célula, formada por un complejo central, un complejo periférico y cinco plataformas más de perforación. El campo III se presenta en un esquema formado por dos células, cada una con su respectivo complejo central y una de ellas con un complejo periférico.

En la Tabla 2 se muestra un diagrama con los tiempos estimados y basados en experiencias anteriores para diseño, construcción, instalación y puesta en operación de los diferentes tipos de plataformas.

#### TIEMPOS TOTALES DE INSTALACION

<u>PLATAFORMA</u>	<u>TIEMPO (MESES)</u>
Perforación	11
Producción	18
Compresión	23
Habitacional	13
Enlace	14

TABLA 2

# EJEMPLO DE UN ESQUEMA DE DESARROLLO

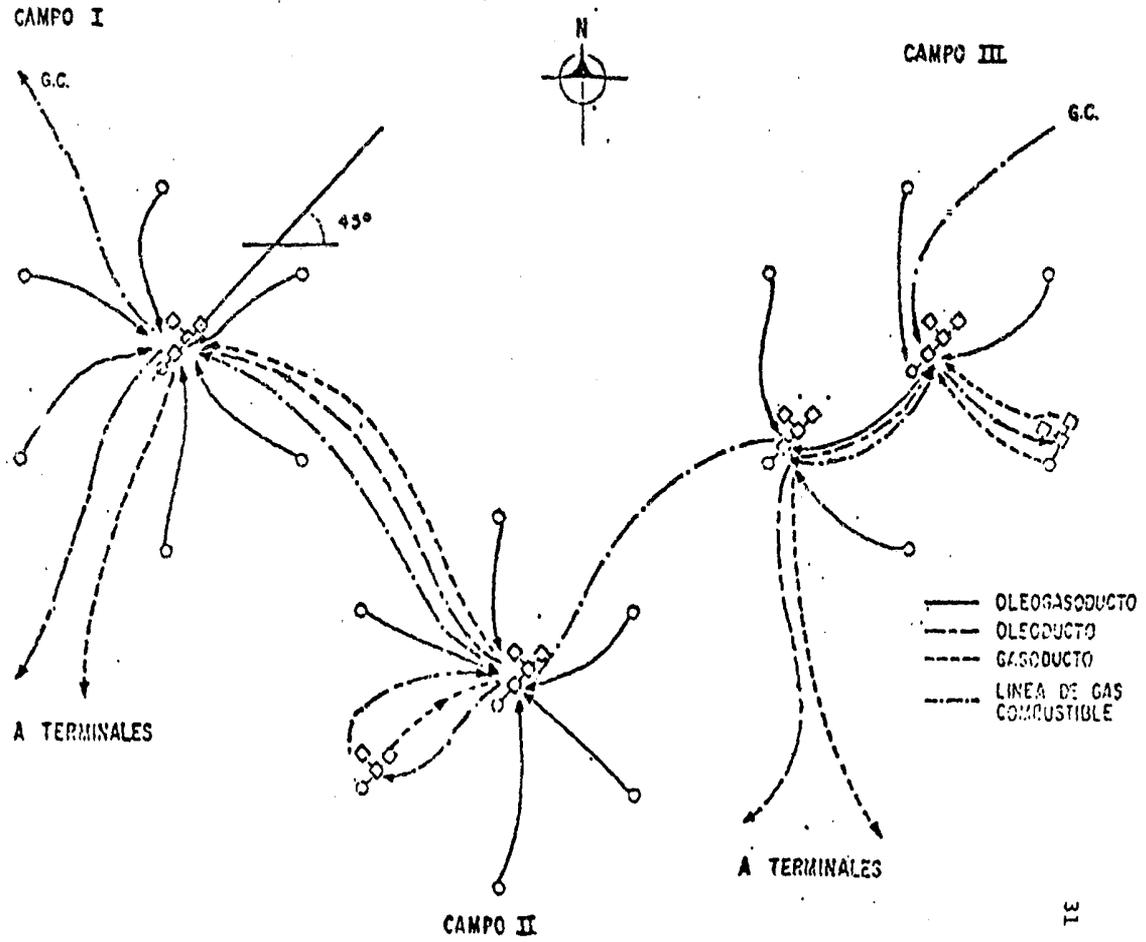


Fig. 2.2.5 Ejemplo de Un Esquema de Desarrollo

De acuerdo a la Tabla 2, se observa de las cinco plataformas que la más compleja es la de compresión.

### 2.3 Equipo Principal

En general, una plataforma de compresión de gas está integrada por el siguiente equipo:

#### 2.3.1 Planta de Compresión de Gas Amargo.

##### SERVICIO

Enfriador del Compresor de Baja Presión.

Enfriador del Compresor de Alta Presión, 1a. Etapa.

Enfriador del Compresor de Alta Presión, 2a. Etapa.

Tanque de Succión del Compresor de Alta Presión,  
1a. Etapa.

Tanque de Succión del Compresor de Alta Presión,  
2a. Etapa.

Separador de Gas Amargo Húmedo.

Rectificador de Gas de Alta Presión.

Rectificador de Gas de Baja Presión.

Separador de Gas de Alta Presión.

Compresor de Baja Presión.

Compresor de Alta Presión, 1a. Etapa.

Compresor de Alta Presión, 2a. Etapa.

### 2.3.2 Planta Deshidratadora de Gas Amargo.

#### SERVICIO

Torre Deshidratadora de Gas.

Torre Regeneradora de DEG.

Intercambiador DEG Húmedo/DEG seco.

Rehervidor de la Torre Regeneradora de DEG.

Enfriador de DEG Seco.

Separador de Hidrocarburos

Tanque de Balance de DEG.

Filtro de Carbón Activado

Filtro de DEG Húmedo

Bomba de DEG.

Bomba de Reposición de DEG.

### 2.3.3 Planta Endulzadora de Gas Combustible.

#### SERVICIO

Torre Absorbedora de Gas Acido.

Torre Regeneradora de DEA.

Intercambiador DEA Rica/DEA Pobre.

Rehervidor de la Regeneradora de DEA.

Enfriador de DEA Pobre.

Enfriador de Gas Acido.

Tanque de Desorción de Hidrocarburos.

Tanque de Balance de DEA.

SERVICIO

Acumulador de Reflujo de la Regeneradora de DEA.

Separador de DEA.

Filtro de DEA Rica.

Filtro de DEA Pobre.

Filtro de Carbón Activado.

Bomba de DEA Pobre.

Bomba de Recirculación de DEA.

Bomba de Reflujo de la Regeneradora de DEA.

#### 2.3.4 Servicio Auxiliar, Aceite de Calentamiento.

SERVICIO

Torre Agotadora de Gas Acido.

Tanque Separador Gas-Aceite-Agua.

Bomba de Agua Amarga.

Horno del Sistema de Aceite de Calentamiento.

Rehervidor de la Regeneradora de DEA.

Rehervidor de la Regeneradora de DEG.

Sobrecalentador de Gas Combustible.

Tanque de Expansión Térmica.

Tanque de Almacenamiento de Aceite de Calentamiento.

Tanque de Calentamiento de DEA.

Filtro de Aceite de Calentamiento.

SERVICIO

Bomba de Aceite de Calentamiento.

Bomba de Reposición de Aceite de Calentamiento.

Bomba de Recirculación de Aceite de Calentamiento.

Tanque de Inhibidor de Corrosión para Sistema de  
Compresión.

Tanque Inhibidor de Corrosión para Endulzadora de  
Gas Combustible.

Tanque de Antiespumante para Endulzadora de Gas -  
Combustible.

Tanque de Almacenamiento de DEA.

Tanque de Almacenamiento de DEG.

Tanque de Inhibidor de Corrosión para Deshidratado  
ra de Gas Amargo.

Tanque de Antiespumante para Deshidratadora de Gas  
Amargo.

Todo el equipo enunciado, forma parte del proceso de com-  
presión del gas, en la plataforma marina.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> NOTA: Las funciones de los equipos antes mencionados,  
se explicarán más ampliamente en el siguiente -  
capítulo.

## 2.4 Proceso y Algunos Servicios Auxiliares.

La Plataforma de Compresión, recibe el gas separado en la plataforma de producción temporal, con el fin de prepararlo para su envío a tierra.

Para lograr su objetivo considerando su localización geográfica y la necesidad de operación continua para evitar el desaprovechamiento del gas, la plataforma de compresión, además de las plantas necesarias para el proceso en sí, cuenta con plantas y equipos auxiliares para servicios indispensables, tales como: endulzamiento de gas combustible, tratamiento y eliminación de desecho, sistema de calentamiento, generación de agua potable, suministro de agua de servicios y contraincendio, generación de gas inerte, generación y distribución de energía eléctrica, aire de planta e instrumentos.

Los procesos que se llevan a cabo en la plataforma son los siguientes:

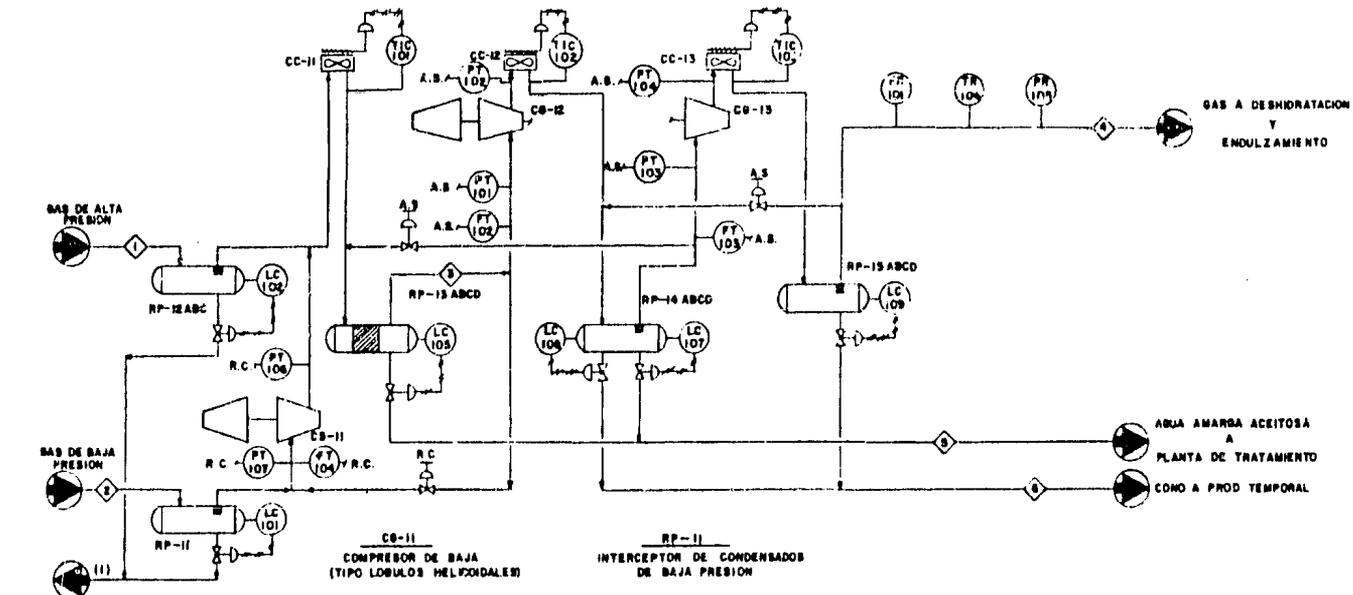
- 2.4.1 Proceso de Compresión del Gas Amargo.
- 2.4.2 Proceso de Deshidratación del Gas Amargo.
- 2.4.3 Proceso de Endulzamiento del Gas Combustible.
- 2.4.4 Servicio Auxiliar, Aceite de Calentamiento para -- Gas-Dietilenglicol (DEG), Dietalonamina (DEA).

#### 2.4.1 Proceso de Compresión del Gas Amargo.

Este sistema consta de cuatro módulos de compresión, de los cuales tres están en operación y uno de relevo.

De la plataforma de producción temporal se reciben dos corrientes de gas, una de baja presión (B.P.) y otra de alta presión (A.P.) (dib. 1.4.1). El separador de alta presión recibe el crudo y por medio de mamparas de choque se efectúa un rompimiento de la corriente para liberar el gas, seguido de una disminución en la velocidad del flujo, que permite la segregación por gravedad de las tres fases (gas, aceite y agua), extrayéndose el gas por la parte superior. A este gas se le denomina "gas de alta presión" ( $P=8.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ man}$ ,  $T=66 \text{ }^\circ\text{C}$ ), y es enviado a la plataforma de compresión.

El aceite separado es enviado a una segunda etapa de separación, similar a la anterior, donde el gas separado o "gas de baja presión" ( $P=2.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ man}$  y  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ), se pasa al interceptor de condensados de baja presión (KP-11), cuya función es la de atrapar las cargas de líquido, que por mala operación de la plataforma de producción, se puedan tener. En operación normal este recipiente remueve las partículas líquidas de la corriente de gas (cargas líquidas relativamente ligeras). Estos condensados son extraídos por medio del controlador de nivel LC-101 que actúa sobre la válvula LV-101.



- CB-11 COMPRESOR DE BAJA (TIPO LOBULOS HELICOIDALES)
- CB-12 COMPRESOR DE ALTA 1a ETAPA
- CB-13 COMPRESOR DE ALTA 2a ETAPA
- RP-11 INTERCEPTOR DE CONDENSADOS DE BAJA PRESION
- RP-12 ABC INTERCEPTOR DE CONDENSADOS
- RP-13 ABCD FILTRO SEPARADOR
- RP-14 ABCD TANQUE SEPARADOR 1a ETAPA
- RP-15 ABCD TANQUE SEPARADOR 2a ETAPA
- CC-11 INTERCAMBIADOR
- CC-12 INTERCAMBIADOR
- CC-13 POSTENFRIADOR

A.S. CONTROLADOR "ANTIBURGE" (1) NORMALMENTE SIN FLUJO  
 R.C. CONTROL DE RECIRCULACION PARA EL COMPRESOR DE BAJA

En caso de recibirse cargas considerables de líquido, se cuenta con una válvula de apertura rápida, LV-102, que actuará con la señal del interruptor por alto nivel LSH-102. Estos condensados se retornan a la plataforma de producción temporal. El gas de baja presión libre de líquidos, se alimenta a los cuatro módulos de compresión.

La corriente de "gas de alta presión" (a 8.0 kg/cm<sup>2</sup> man y 66 °C) proveniente de la plataforma de producción temporal, se recibe en los intersepectores de condensados de alta presión (RP-12A, B, C) cuya función es la misma que la del interceptor de baja presión. El gas se reúne en un cabezal para ser alimentado a los cuatro módulos de compresión.

La corriente del gas de baja presión  $\diamond 2$  se alimenta a la succión del compresor de baja presión (CG-11) de tipo lóbulos helicoidales, accionado por turbina de gas mediante caja de engranes reductora de velocidad, este compresor cuenta con tanques amortiguadores de pulsaciones a la succión y a la descarga. La corriente de gas es comprimida desde 2.0 hasta 8.0 kg/cm<sup>2</sup> man, la temperatura de descarga es de 120 °C aproximadamente y a estas condiciones se une a la corriente de gas de alta presión  $\diamond 1$ , procedente de los intersepectores de condensados RP-12A, B, C. Esta corriente es entrada en el enfriador (CC-11), del tipo soloaire, con el objeto de provocar la mayor condensación de hidrocarburos y agua, también -

aumentar el rendimiento de la siguiente etapa de compresión. La temperatura de salida del gas ( $52^{\circ}\text{C}$ ) es controlada por el TIC-101 que actúa las persianas de paso del aire.

Los condensados formados son colectados en el filtro separador RP-13, provisto de filtros coalescedores y eliminador de niebla tipo aletas. Los condensados (principalmente-agua) se envían al cabezal de agua aceitosa para su tratamiento por medio del controlador de nivel LC-105.

La corriente de gas que abandona el filtro separador RP-13 es succionada por el compresor centrífugo CG-12, donde se le incrementa la presión desde 6.9 hasta  $35\text{ kg/cm}^2$  man. El gas comprimido sale a una temperatura aproximada de  $163^{\circ}\text{C}$  - por la que se le envía al interenfriador CC-12 (tipo soloaire) donde se le reduce la temperatura hasta  $52^{\circ}\text{C}$ , ésta es controlada mediante el TIC-102, alimentándose de esta manera al tanque separador RP-14 en donde se le separan el agua y los hidrocarburos condensados. El agua se envía al cabezal de agua aceitosa, por medio del controlador de interfase LC-107, y los hidrocarburos son retornados a la plataforma de producción - temporal por medio del controlador de nivel LC-108. El gas sale a través de un eliminador de niebla y es succionado por el compresor centrífugo CG-13 que le incrementa la presión - desde  $39.4$  a  $86.0\text{ kg/cm}^2$  man. Esta última compresión eleva la temperatura hasta  $120^{\circ}\text{C}$ . La corriente de gas se enfría

en el post-enfriador CC-13 (tipo soloaire) hasta  $52^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura se controla mediante el TIC-103. A continuación, las corrientes de gas es alimentada al tanque separador RP-15 donde los líquidos condensados se colectan y se retornan a la plataforma de producción temporal mediante el controlador de nivel LC-109. El gas abandona el tanque y se le registran el flujo, la temperatura y la presión, con el fin de supervisar la producción de gas y llevar una estadística de la operación de cada módulo de compresión. Las corrientes de descarga de cada módulo se reúnen en un cabezal, para enviarse a las secciones de endulzamiento y deshidratación.

#### 2.4.2 Proceso de Deshidratación del Gas Amargo.

El sistema de deshidratación tiene la finalidad de reducir el contenido de agua presente en las corrientes de gas a tierra, hasta  $0.107\text{ kg/cm}^3$  STD, valor que se considera como máximo adecuado para evitar problemas de corrosión y formación de hidratos en su transporte y manejo.

La deshidratación del gas se efectúa por medio de un proceso de absorción que utiliza dietilenglicol DEG como agente deshidratante.

La planta está constituida por dos secciones. la de des-

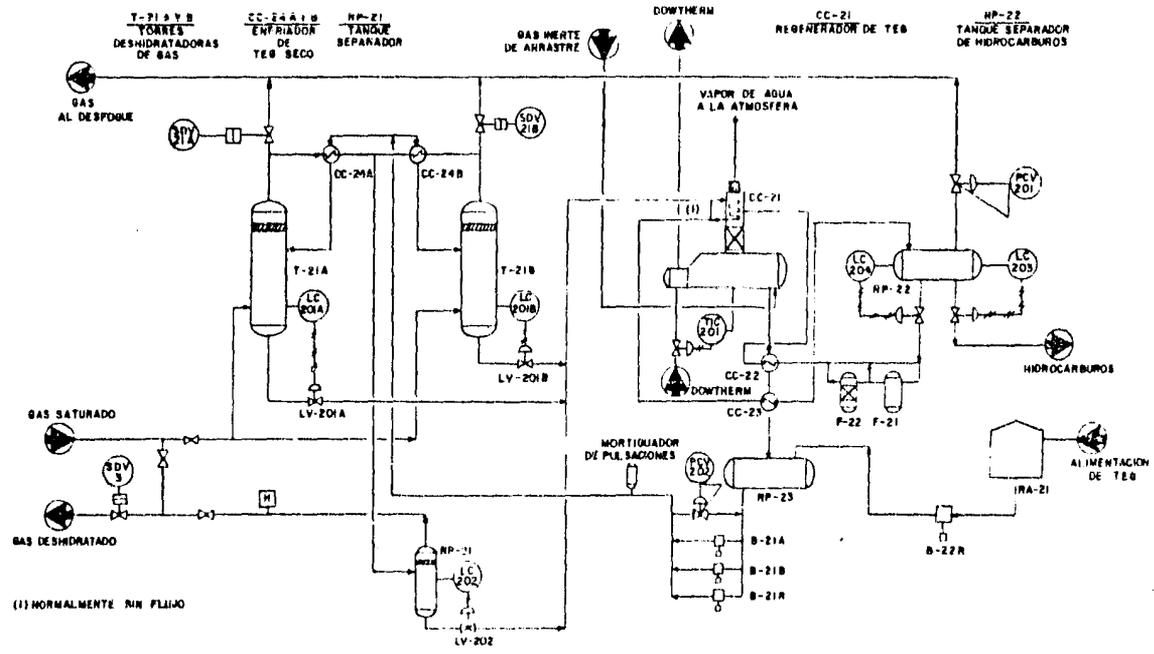
hidratación y la de regeneración de DEG.

Los hidratos formados en los ductos son sólidos, cuya estructura es diferente de la del hielo, el cual es un sólido-cristalino. El hidrato es un tipo de compuesto denominado "clatrato", término usado para denotar compuestos que aunque pueden existir en forma estable, no resultan de uniones químicas verdaderas entre las moléculas del agua, con una serie de espacios abiertos o intersticios que son ocupados por moléculas del gas, dando una estructura sólida a temperaturas por encima de la requerida para la formación del hielo.

Otra razón por lo cual se deshidrata el gas, es evitar o retardar la corrosión del gasoducto, debido a que el agua líquida, ante la presencia del ácido sulfhídrico y bióxido de carbono en el gas, provoca soluciones ácidas muy corrosivas.

La descripción del proceso de deshidratación es el siguiente (dib. 1.4.2):

La corriente de alimentación proveniente de los paquetes de compresión se reparte en dos torres deshidratadoras de gas (T-21 A y B). La razón de emplear dos torres en paralelo es la de contar con mayor flexibilidad respecto a trabajar con flujos reducidos. El gas asciende a contracorriente con una solución de dietilenglicol DEA, al 99.8 % en peso, la cual



(1) NORMALMENTE SIN FLUJO

- CC-22  
CAMBIADOR DE CALOR  
TEG-TEG
- CC-23  
CAMBIADOR DE CALOR  
TEG-TEG
- NP-23  
TANQUE DE BALANCE
- F-21  
FILTRO DE CARTUCHO
- F-22  
FILTRO DE CARBON  
ACTIVADO
- RA-21  
TANQUE DE  
ALMACENAMIENTO  
DE TEG
- M-21A/B/R  
BOMBAS DE TEG
- B-22/M  
MOMBA DE REPOSICION  
DE TEG

TEBIS PROFESIONAL ING. MECANICO ELECTRICISTA	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO F. E. S. C.	J. EDUARDO CISNEROS SALDAMA	PLANTA DESHIDRATADORA DIBUJO No. 1.4.2 JUN. 84
---	--	-----------------------------	---

se alimenta al plato superior.

El gas deshidratado abandona las torres (T-21 A y B) equipadas con malla eliminadora de niebla, pasando por los cambiadores de calor CC-24 A y B, tomando calor de la corriente del DEG-seco. Las corrientes de gas se unen y se envían al tanque separador RP-21 provisto de un coalescedor de placa - que recupera la DEG arrastrada, la cual se retorna a la corriente de DEG-húmedo mediante el controlador de nivel LC-202 que actúa la válvula LV-202, de donde reduce la presión de la solución, de 83 a 7 kg/cm<sup>2</sup> man. La corriente de gas sale del separador RP-21 para ser enviado a la plataforma de enlace de gas, donde se colecta el gas de los diferentes campos - y se envían por gasoductos a la costa para su procesamiento.

El DEG-húmedo abandona las torres (T-21 A y B) mediante los controladores de nivel LC-201 A y B que actúan las válvulas LV-201 A y B, reduciendo la presión de 87 a 7 kg/cm<sup>2</sup> man, provocando la vaporización instantánea de los hidrocarburos - ligeros, el ácido sulfídrico y el bióxido de carbono, absorbidos en el DEG. La corriente de DEG-húmedo es precalentada hasta 70 °C con el vapor de agua que se desprende de la columna del regenerador de DEG ( CC-21 ) y también intercambia calor con la corriente de DEG-seco en el cambiador de calor (CC-23), donde su temperatura alcanza 88<sup>0</sup>C pasando al tanque separador de hidrocarburos (RP-22) en donde los gases libera

dos son enviados al cabezal de desfogue mediante el controlador de presión PLV-201 y los hidrocarburos pesados son separados por diferencia de densidades mediante el controlador de nivel LC-203 y son enviados al cabezal de drenaje aceitoso. El tanque-húmedo se extrae del tanque (RP-22) mediante el controlador de nivel LC-204.

El DEG-húmedo se pasa a través del filtro de cartucho (F-21) y a continuación al filtro de carbón activado (F-22) con el objeto de mantener limpia la solución y evitar problemas de formación de espuma.

A continuación, el DEG-húmedo intercambia calor con el DEG-seco proveniente del regenerador en el cambiador de calor (CC-22) y elevando su temperatura hasta 150°C para ser introducido a contracorriente con los vapores de agua y de DEG en la columna empacada del regenerador (CC-21). En la parte superior de esta columna se cuenta con un condensador integral cuyas funciones son: condensar los vapores de DEG - arrastrados por el vapor de agua que abandona la columna hacia la atmósfera, y precalentar la corriente de DEG-húmedo.

Para lograr una alta concentración de DEG (mayor de 99%) se lleva a cabo un agotamiento mediante arrastre con gas inerte seco, el cual es inyectado debajo de un plato de cachuchas instalado después de la mampara de derrame del rehervidor.

El calor requerido para reconcentrar el DEG en el regenerador, se suministra mediante un haz de tubos sumergido, por el que circula líquido térmico, obteniéndose una temperatura en el DEG de 200°C. El control de temperatura es mediante el controlador de temperatura TIC-201 que actúa sobre la válvula TV-201 que regula el flujo de entrada del líquido térmico al haz del rehervidor.

El DEG-seco, con una concentración de 99.8%, abandona el regenerador hacia los cambiadores de calor (CC-22 y 23) donde cede calor a las corrientes de DEG-húmedo y DEG-húmedo con hidrocarburos respectivamente, para ser enviado al tanque de balance (RP-23) mismo que sirve como tanque receptor del DEG de reposición. De ahí las bombas de DEG (B-21A, B R) de tipo desplazamiento positivo, succionan la corriente de DEG-seco y le incrementan la presión hasta 86 kg/cm<sup>2</sup> man.

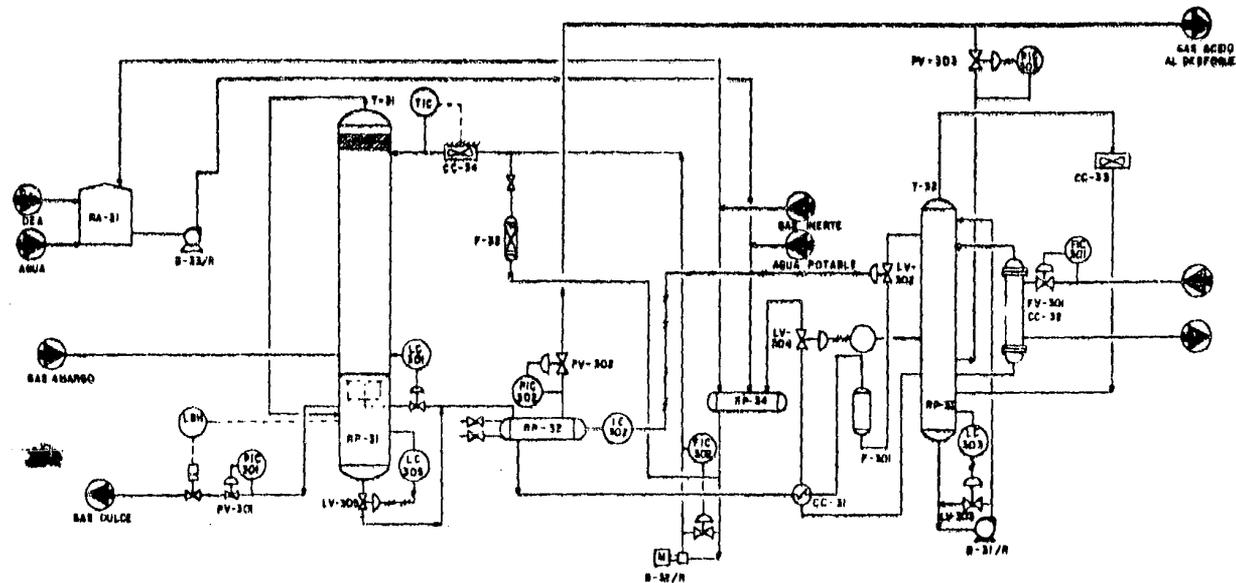
Para poder alimentarla al plato superior de la torre deshidratadora, previo enfriamiento a 55/60°C con la corriente de gas deshidratado (con objeto de evitar problemas de operación en la torre deshidratadora), cerrándose así el círculo de DEG. Para verificación del contenido de humedad en la corriente de gas deshidratado, se tendrá un analizador de humedad a la salida del tanque separador (RP-21).

#### 2.4.3 Proceso de Endulzamiento del Gas Combustible.

La función de este sistema es el de reducir el contenido de gases ácidos (ácido sulfhídrico y bióxido de carbono) de la corriente de gas destinada a utilizarse como combustible en diversos equipos de la plataforma.

De acuerdo a este proceso la corriente de alimentación se introduce a la torre absorbidora de gases ácidos (T-31) - (dib. 1.4.3), en donde asciende a contracorriente con una solución acuosa de dietanolamina DEA al 30% en peso, la cual se alimenta al plato superior, generalmente entre 50 y 60 °C. Esta torre consta de 20 platos, el espaciamiento entre platos es de 61 cm. a fin de contar con espacio suficiente para prevenir la inundación de la torre debido a la formación de espuma, así como facilitar el mantenimiento.

El gas dulce abandona la torre (T-31) a través de un depurador (RP-31) provisto de malla eliminadora de niebla, el cual se puede integrar al tramo inferior de la torre (T-31), lo que ahorra espacio y tubería. Este depurador tiene por objeto garantizar un gas dulce libre de DEA, aun bajo condiciones anormales de operación, tales como inundación total de la torre, por ejemplo. La DEA aquí recuperada se retorna a la corriente de DEA rica que va al tanque de vaporización instantánea (RP-32), mediante el controlador de nivel LC-305, que actúa la válvula LV-305, la cual reduce la presión.



RA-31  
TANQUE DE  
ALMACENAMIENTO  
DE DEA

T-31  
TORRE ABSORBIDORA  
DE GASES AZULOS

CC-34  
REFRIGERADOR  
DE DEA

RP-32  
TANQUE DE  
VAPORIZACION  
INSTANTANEA

RP-34  
TANQUE DE  
BALANCE

T-33  
TORRE  
REGENERADORA  
DE DEA

F-31  
FILTRO DE  
CARTUCHO

CC-33  
CONDENSADOR  
DE REFLUJO

B-31/R  
ROMPA DE  
AFRONTACION  
DE DEA

RP-31  
DEBUNADOR DE  
GAS DULCE

F-31  
FILTRO DE  
CARBON ACTIVADO

B-31/R  
ROMPA DE  
CIRCULACION DE  
DEA

CC-31  
CAMARON DE  
CALOR DEA  
RICA/DEA PORRE

RP-33  
ACUMULADOR  
DE REFLUJO

B-31/R  
ROMPA DE  
REFLUJO

CC-33  
REFRIGERADOR  
DE LA TORRE  
REGENERADORA

YRIBI PROFESIONAL  
ING. MECANICO ELECTRICISTA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
P. E. S. C. J. EDUARDO GONZALEZ GALDANA

PLANTA INDUSTRIAL DE GAS AMARGO  
DIBUJO No. 1.4.3 JUN. 84

La presión en el separador (RP-31) se controla mediante el PIC-301 que actúa la válvula de control (PV-301) montada sobre la línea de salida de gas dulce).

La DEA rica que contiene el ácido sulfhídrico y bióxido de carbono absorbido, se extrae del fondo de la torre (T-31) mediante el controlador de nivel LC-301 que actúa la válvula LV-301, la cual reduce la presión de la solución, de 85 a 5 kg/cm man, provocando la vaporización instantánea (flasheo) de los hidrocarburos ligeros que son separados en el recipiente de vaporización instantánea (RP-32), y enviando al ca bezal de desfoque por medio de un controlador de presión (FIC-302) que actúa la válvula (PV-302). Los hidrocarburos pesados son separados por diferencia de densidades, periódicamente mediante válvulas operadas manualmente, las que se encuentran conectadas a diferentes niveles, en un extremo del recipiente (RP-32). La DEA-rica se extrae de éste por medio del controlador de nivel LC-302 que actúa la válvula LV-302, se precalienta a 105 °C aproximadamente en el cambiador de calor (CC-31) con la corriente proveniente del fondo de la torre regeneradora de DEA (T-32), para este servicio es conveniente un cambiador de placas por razones de espacio y man tenimiento.

La DEA-rica circula por el filtro (F-31), en donde se eliminan todos los sólidos arrastrados con un diámetro por enci-

ma de 5 micrones, para reducir parte de los problemas de operación, y se alimenta a la parte superior de la torre regeneradora de DEA (T-32). En ésta se lleva a cabo la regeneración de la DEA-rica mediante la desorción del ácido sulfhídrico y el bióxido de carbono, por el contacto a contracorriente con el vapor de agua generada en el rehervidor de amina (CC-32) el calor requerido en éste se suministra mediante aceite de calentamiento a  $150^{\circ}\text{C}$  y que se retorna a  $140^{\circ}\text{C}$ , por medio del control de flujo FIC-301 y la válvula FV-301. Una parte de los gases ácidos son liberados en el plato superior de la torre regeneradora y el resto se desprende al descender por esta, los gases ácidos y el vapor de agua abandonan el domo y pasan a través del condensador de reflujo (CC-33) de tipo soloaire tiro forzado, donde la mayor parte del vapor es condensado y enfriado a  $50^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, el afluente se alimenta al acumulador de flujo (RP-33), el cual también puede ser integrado al tramo inferior de la torre regeneradora para ahorrar espacio y tubería.

Los gases separados en el alimentador de flujo conteniendo principalmente ácido sulfhídrico y bióxido de carbono saturados con agua, son enviados al cabezal de desfoque, por medio del controlador de presión de la regeneradora mediante el controlador de presión (PIC-303) y la válvula PV-303, el cual mantiene la presión de la regeneradora alrededor de  $0.8\text{ kg/cm}^2$  man, y el líquido, esencialmente agua, es el retorno a la -

parte superior de la columna mediante la bomba B-31/R como -  
reflujo por medio del control de nivel LC-303 con la válvula  
LV-303.

La DEA regeneradora del fondo de la torre (T-32), a una  
temperatura cercana a los 120°C, fluye por medio del control  
de nivel LC-304 y la válvula LV-304 hacia el cambiador de ca  
lor CC-31, donde se enfría hasta aproximadamente a 90°C, in-  
tercambiando calor con la DEA rica de alimentación a la to--  
rre regeneradora (T-32), y se envía a continuación al tanque  
de balance (RP-34).

El tanque de balance (RP-43) provee el tiempo de residen-  
cia necesaria para un mejor control de las condiciones varia  
bles de operación y recibe los repuestos de DEA concentrada  
y agua tratada. Para evitar la descomposición de la DEA por  
la acción del oxígeno del aire, el tanque está provisto de -  
atmósfera inerte.

La DEA pobre se succiona del tanque de balance (RP-34) -  
mediante la bomba de desplazamiento positivo (B-32/R) que --  
descarga la solución a 88kg/cm<sup>2</sup> man a través del cambiador -  
de calor (CC-34), tipo soloaire.

La DEA pobre enfriado se envía a la parte superior de la  
torre absorbadora (T-31)

Con objeto de mantener la solución de DEA libre de impurezas que causan problemas de corrosión y formación de espuma, se toma de la descarga de la bomba (B-32/R) antes del enfriador de DEA (CC-34), al rededor del 10 % de la corriente circulante y se pasa por el filtro de carbón activado (F-32) para ser recuperada a la succión de la bomba antes mencionada. Este sistema cuenta con una válvula de ángulo para reducir la presión de 88 a 10 kg/cm<sup>2</sup> man. aproximadamente, antes del filtro (F-32).

#### 2.4.4 Servicios Auxiliares. Aceite de Calentamiento -- para Gas Dietilenglicol (DEG), Dietanolamina (DEA)

Entre los servicios auxiliares requeridos en la plataforma, se encuentran: Tratamiento de agua aceitosa, gas inerte, energía eléctrica, agua potable, aire de planta e instrumentos, sistema de aceite de calentamiento, etc.

De estos servicios el más importante es el sistema de aceite de calentamiento.

El suministro de calor que necesitan los procesos en los complejos petroquímicos y refinerías es usualmente proporcionado mediante vapor de agua. En las plataformas marinas se utiliza un fluido de calentamiento en estado líquido por las siguientes razones:

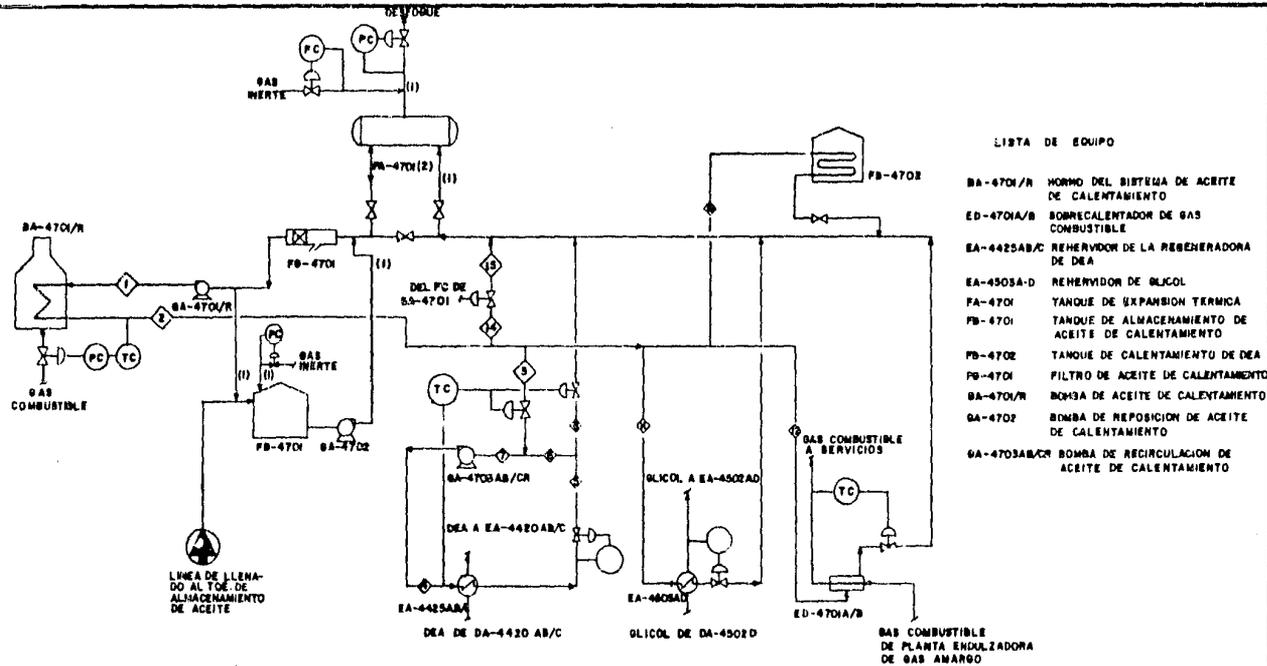
- a) No requiere grandes cantidades de agua, cuya disponibilidad en la plataforma es limitada.
- b) Poco espacio ocupado, al no requerirse condensadores ni planta de tratamiento de agua para caldera.
- c) Poco mantenimiento.
- d) Para las temperaturas requeridas, las presiones son bajas.

#### Sistema de Aceite de Calentamiento para Gas-DEA-DEG.

El sistema de aceite de calentamiento para Gas-DEA-DEG - consiste en un circuito cerrado de intercambio de calor, en el que se utiliza aceite del tipo "Dowtherm G" como medio de calentamiento para los diferentes servicios en que se requiere (dib. 1.4.4).

El aceite frío proveniente del cabezal de retorno del sistema de aceite de calentamiento, se alimenta al horno BA-4701 por medio de la bomba GA-4701/R, para suministrarle la carga térmica necesaria para dar servicio a los equipos de intercambio de calor en la plataforma.

Del horno BA-4701 se obtiene una corriente de aceite caliente a control de temperatura, en cascada, con un control de presión del suministro de gas combustible al mismo calentador.



LISTA DE EQUIPO

- BA-4701/R HORNO DEL SISTEMA DE ACEITE DE CALENTAMIENTO
- ED-4701A/B SOBRECALENTADOR DE GAS COMBUSTIBLE
- EA-4420AB/C REHENVIDOR DE LA REGENERADORA DE DEA
- EA-4503A-D REHENVIDOR DE GLICOL
- FA-4701 TANQUE DE EXPANSION TERMICA
- PB-4701 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE CALENTAMIENTO
- PB-4702 TANQUE DE CALENTAMIENTO DE DEA
- PB-4701 FILTRO DE ACEITE DE CALENTAMIENTO
- BA-4701/R BOMBA DE ACEITE DE CALENTAMIENTO
- BA-4702 BOMBA DE REPOSICION DE ACEITE DE CALENTAMIENTO
- BA-4703AB/C BOMBA DE RECIRCULACION DE ACEITE DE CALENTAMIENTO

Del cabezal se distribuye aceite caliente a los siguientes equipos:

EA-4425	AB/C	Rehervidor de la regeneradora de DEA.
EA-4503		Rehervidor de la torre regeneradora - DEG.
ED-4701	A/B	Sobrecalentador de gas combustible.
FB-4702		Tanque de calentamiento de DEA

Del cabezal de distribución de aceite se alimenta a la succión de la bomba GA-4703 AB/CR, previa mezcla con una recirculación de aceite frío de EA-4425 AB/C, disminuye la temperatura de suministro a los paquetes de endulzamiento, evitando así que se degrade la DEA.

De la bomba GA-4703 AB/CR se alimenta aceite al rehervidor EA-4425 AB/C, de donde sale a control de flujo, recirculándose una parte a la succión de GA-4703 AB/CR. El resto se envía al cabezal de retorno regulándose el flujo de acuerdo a la temperatura de la corriente de alimentación a EA-4425 AB/C. Así mismo, mediante esta señal, se regula la alimentación de aceite caliente del cabezal de suministro a la succión de GA-4703 AB/CR.

Por otra parte, se tiene una línea de alimentación de aceite al rehervidor de la regeneradora de DEG, EA-4503.

El suministro del aceite caliente se regula por medio de una válvula de control a la salida del rehervidor, con una señal de temperatura de la corriente de DEG caliente, y se envía al cabezal de retorno.

El suministro de aceite caliente al serpentín del tanque FB-4702, se efectúa controlando el flujo de acuerdo a la temperatura del agua presente en el mismo tanque. El aceite frío se envía al cabezal de retorno.

Finalmente, se alimenta aceite caliente al sobrecalentador de gas combustible, ED-4701 A/B. El aceite frío se envía al cabezal de retorno, controlando el flujo de acuerdo a la temperatura de la corriente de salida del gas del mismo sobrecalentador.

Para mantener un flujo constante a través del circuito de aceite de calentamiento y la estabilidad de operación del horno, se dispone de un control de flujo colocado en una línea de desvío, de la descarga del horno al cabezal de retorno de aceite. La señal para dicho control se toma de la descarga de la bomba GA-4701/R.

El aceite de retorno se envía al filtro FG-4701 y de ahí a la succión de la bomba GA-4701/R.

Antes del filtro FG-4701, el cabezal de retorno se encuentra comunicado con el tanque de expansión térmica FA-4701, en donde se absorben las variaciones de volumen del aceite que se presentan, por cambios de temperatura a través del circuito.

De la succión de GA-4701/R se tiene una línea de vaciado del aceite del sistema al tanque de almacenamiento FB-4701, el cual cuenta con un sello de gas inerte, que se alimenta a control de presión, para evitar la oxidación del aceite.

La reposición de aceite de calentamiento al circuito, se hace por medio de la bomba de reposición GA-4702 a partir del tanque FB-4701.

### 3. DATOS DE OPERACION

Este estudio consiste en el análisis de las diferentes alternativas para desarrollar la ingeniería y especificaciones de los calentadores a fuego directo para ser instalado en un sistema de aceite de calentamiento, localizado en la plataforma marina de compresión de gas Abkatún y proponer la opción más adecuada para satisfacer las necesidades de proceso.

Se considerará que el calentador tendrá la capacidad de operar bajo las condiciones requeridas de presión, temperatura y flujo, proporcionando así la carga térmica al aceite de calentamiento (Dowtherm G), según las condiciones de proceso.

#### 3.1 Características de Alimentación.

Aceite de calentamiento "Dowtherm G" o similar.

Temperatura °F	Diseño	Normal	Mínimo
	600	392	336
Presión Psig	80		
(P. atmosférica = 14.7 Psig)			
Densidad @ T = 392 °F Lb/FT <sup>3</sup>		60.4	
Viscosidad @ T = 392 °F CP		0.68	
Peso Molecular		215	

### 3.2 Características de la Salida.

Total Lbmol/H	Diseño	Normal
	1758.284	1465.237
Total Lb/H	378.031	315.026
Temperatura °F	470	
Presión Psig	50	
Densidad @ T = 470 °F	Lb/FT <sup>3</sup>	57.6
Viscosidad @ T = 470 °F	CP	0.48
Caída de Presión Max. disponible	Psi	30

### 3.3 Flexibilidad

El horno deberá ser capaz de manejar el 72 % en sobre diseño de la carga térmica de operación, y el 20 % en sobre diseño del flujo normal de operación.

### 3.4 Combustible

Tipo de combustible	Gas Dulce	
Temperatura °F	Normal	Mínima
	160	130
Presión Psig	15	

### 3.5 Espacio Disponible

El horno dispondrá de una área mínima, pero suficiente para su inspección y mantenimiento.

### 3.6 Servicios Auxiliares

El horno deberá estar diseñado para operar con gas combustible (gas natural) dada su disponibilidad en la plataforma. Contará además con los siguientes requerimientos para su operación: gas inerte, aire para su combustión, aire de instrumentos y aceite de calentamiento.

### 3.7 Condiciones de Aire

Temperatura de entrada °F	Máx. Ext.	Máx. Prom.	Prom. del Mes Más Caliente
	68	100	91
Humedad relativa	Máxima	Mínima	
	100	82.7 %	

#### 4. CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCION, CALCULO DE LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO.

Las aplicaciones más importantes que tenemos en los procesos de transferencia de calor, se refieren al cálculo y - diseño de calderas generadoras de vapor y hornos, que son - generalmente utilizados en los procesos de refinación del - petróleo.

Actualmente, se cuenta con métodos semiteóricos para el cálculo y selección de las áreas radiantes de transferencia de calor. A menudo, estos métodos son adaptados a soluciones de proceso y equipos en los que la transferencia de calor radiante es de mucha importancia.

El propósito de presentar estos métodos empíricos y semiteóricos para el cálculo de este tipo de hornos es dar a - conocer sus diferentes usos y aplicaciones en problemas de - transferencia de calor.

Si bien es necesario calcular el flujo de la transferencia de calor radiante para diseñar el horno, también es necesario tomar en cuenta otros factores que influyen a menudo - en la disposición de los hornos, tales como el flujo permisible bajo varias condiciones, la cantidad y naturaleza de las cenizas en la eficiencia de la transferencia, etc.

Se define la transferencia de calor, como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuentes de calor y receptores, es decir, existe un intercambio térmico en un tiempo determinado. Puesto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro del mismo sistema más pérdidas al medio ambiente.

En las refinerías se requieren hornos para manejar fluidos a temperaturas hasta de  $1500^{\circ}\text{F}$  y presiones tan severas como  $1600 \text{ Lb/Plg}^2 \text{ g}$ .

En estos hornos se usa como combustible exclusivamente petróleo o gas. En general, la eficiencia térmica de los hornos de las refinerías es considerablemente menor que la de las calderas de gran tamaño productoras de vapor, debido a que el combustible que se utiliza contiene un poder calorífico menor: ahora con la mayor utilización del petróleo crudo producido, el combustible empieza a escasear y al mismo tiempo es más valioso, por lo que es necesario aprovechar al máximo el combustible, buscando la máxima eficiencia en la operación.

Como en las calderas, los hornos de refinerías están provistos de una superficie radiante, además, la transferen-

cia de calor por convección. Ocasionalmente, para los hornos de baja capacidad se emplea solamente superficie radiante y sus capacidades ordinarias llegan a los 5'000.00 Btu/h.

En la siguiente ilustración (fig. 4.1) tenemos un horno de tipo caja calentador por la parte inferior de la sección radiante. Los hornos de este tipo pueden tener capacidades que varían de 25 a 100 millones de Btu/h. Los tubos radiantes cubren las paredes laterales, techo y sección del puente (porción entre las secciones radiantes y de convección). El flujo de proceso se precalienta en la parte inferior e hileras superiores del banco de convección, pasando luego a los tubos radiantes. Este tipo emplea recirculación de los gases de combustión., lo que sirve para aumentar la capacidad de la sección de convección y reduce la carga de la sección radiante.

La fig. 4.2 muestra otro tipo de horno tipo DE-Florez, - que contiene una sección transversal circular y emplea tubos verticales. Todos los tubos radiantes están equidistantes - de los quemadores, asegurando una buena distribución circunferencial del calor, pero el flujo caliente puede variar con siderablemente de la parte inferior a la parte superior de - los tubos. Este horno se enciende por la parte inferior y - tiene tan poca superficie de convección que para mejorar la

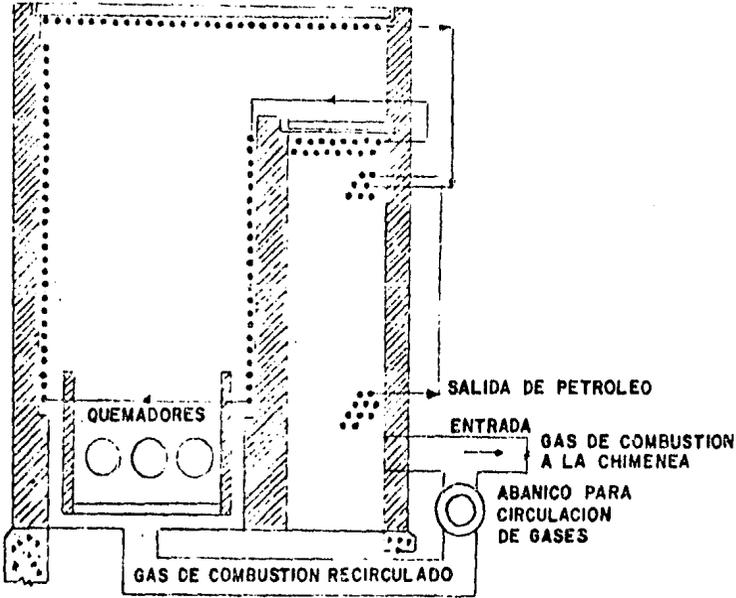


FIG.4.1. HORNO TIPO CAJA

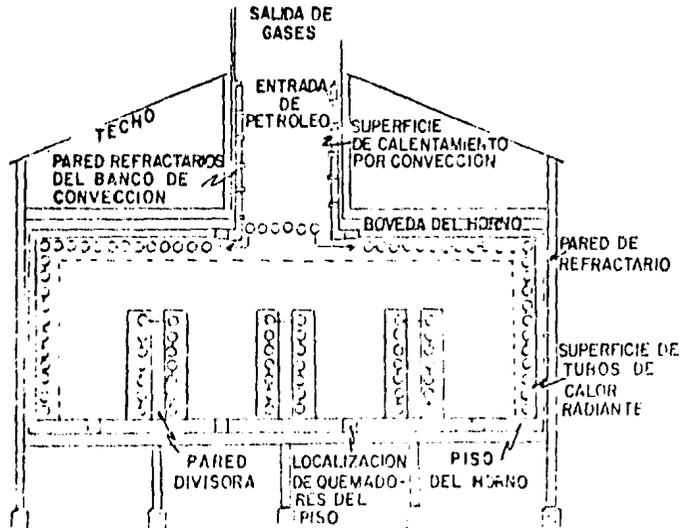


FIG 4.4 HORNO PARA CALENTAMIENTO DE PETROLEO CON BANCO DE CONVECCION SUPERIOR PROVISTO CON SECCIONES RADIANTES DE ENCENDIDO INDEPENDIENTE

eficiencia térmica se emplea precalentador de aire.

La fig. 4.3 muestra un horno con banco de convección superior y de tipo de caja. la chimenea está localizada en la parte superior del banco de convección. Una disposición de este tipo permite ahorros en la construcción del ducto y chimenea para gases de combustión, en comparación con los arreglos de flujo de "tiro invertido".

La ilustración 4.4 presenta un horno moderno de sección radiante múltiple. El banco de convección se usa para calentar dos corrientes de flujo separados, cada una de estas corrientes se calienta idénticamente en una de las secciones exteriores radiantes "calientes" y se les permite absorber en una de las secciones de radiación. Además, puesto que los tubos pueden verse durante la operación, cualquier deformación en ellos puede notarse y así evitar fallas en los tubos causadas por incendio.

El encendido del horno en el piso, permite el uso de gran número de pequeños quemadores distribuidos a lo largo de la longitud de los tubos, asegurando una distribución uniforme del flujo termico. Los pequeños quemadores pueden localizarse cerca de la pared o de los tubos en la bóveda, sin peligro de que la flama de los quemadores golpee directamente los tubos. Como resultado, las dimensiones de la sección -

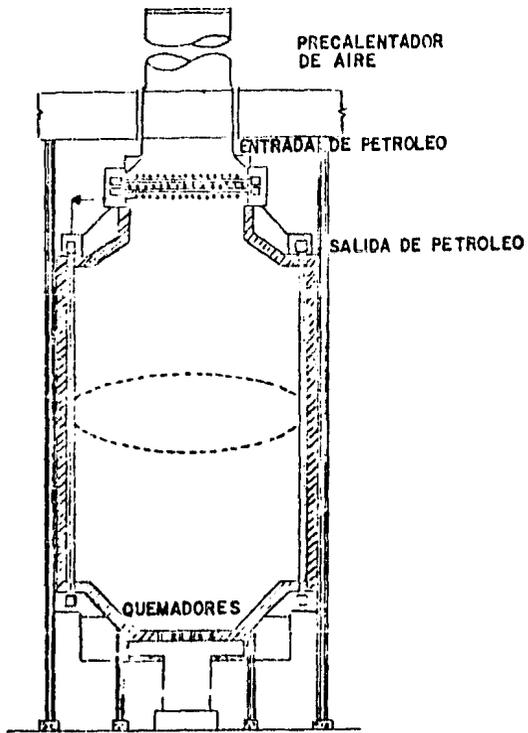


FIG.4.2 HORNO CIRCULAR DE FLOREZ

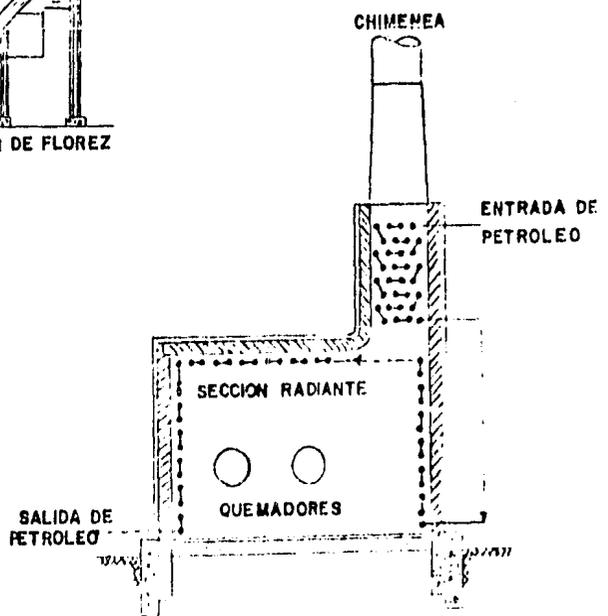


FIG.4.3 HORNO SIMPLE CON BANCO DE CONVECCION SUPERIOR

transversal de este horno, pueden reducirse y los tubos pueden ser más largos que un horno que se calienta por la parte inferior de la pared con quemadores grandes. Además, se puede lograr un ahorro considerable de tubos doblados expresos o "cabezales", que por lo general son caros.

La fuente de calor de un horno surge primeramente, por una reacción de combustión y por el calor sensible del aire de combustión, si éste ha sido precalentado. Los combustibles del petróleo pueden quemarse de tal manera que generen flamas variables, dependiendo del diseño del quemador, grado de atomización y porcentaje de aire en exceso.

Las diferencias en las características de las flamas o patrones de calor producidas en el quemado convencional de varios combustibles, han dado como resultado el desarrollo de métodos de cálculo de la transmisión de calor radiante que se aplican, por una parte, a los hornos calentados por gas o líquidos. Al principio, entonces los cálculos deben diferenciarse entre hornos calentados por gas o líquidos, y aquellos a los que se alimentan combustibles sólidos. Es justificable decir que los métodos para calcular la absorción de calor en los hornos de las refinerías están más avanzados que aquellos para calderas. Indudablemente esto se debe, cuando menos en parte, a la mayor complejidad de las fuentes de calor y receptoras en las calderas.

Consideremos un horno en el cual se quema un combustible gaseoso mediante quemadores, y que la trayectoria de los productos de combustión a través del horno es muy corta comparada con las dimensiones del plano perpendicular a la trayectoria. En este horno, equipado con muchos quemadores pequeños para dar una buena distribución de la combustión, se podría esperar una variación pequeña o ninguna en la temperatura de los gases de un punto a otro en el horno. No hay flamas que radien a los tubos o al refractario. Las únicas fuentes de radiación son los productos de combustión y estos, se supone que tienen temperatura uniforme. Hay gran diferencia en la emisividad de varios gases a la misma temperatura. Los gases tales como el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno, tienen emisividades muy bajas, tanto que pueden ser consideradas cero en el trabajo del diseño de los hornos. Por otra parte, el agua, bióxido de carbono y bióxido de azufre tienen buenas emisividades (aunque menores que muchos materiales sólidos), y el monóxido de carbono tiene una emisividad de tipo medio. Las fuentes de radiación pueden referirse específicamente como constituyentes radiantes en los productos de combustión.

La radiación total de una masa de gas que contiene bióxido de carbono y agua, dependerá de la temperatura del gas y el número presente de moléculas radiantes. El volumen del gas y la concentración de moléculas radiantes por unidad de

volumen son, por lo tanto, una medida de la radiación que -- puede anticiparse a una temperatura dada. Actualmente la - forma geométrica del gas debe también considerarse debido - al factor de ángulo involucrado en la radiación.

La emisividad de la masa de gas en un horno es una fun-- ción del producto  $pL$  atm-pies, donde  $p$  es la presión parcial del constituyente radiante y  $L$  es la longitud de la trayectoria media. Si se encuentra presente más de un constituyente radiante, las emisividades son aditivas, aún cuando se debe hacer una pequeña corrección por la interferencia de un tipo de moléculas con la radiación de otras. Al calcular la emisividad de una masa de gas se debe tomar en cuenta las temperaturas tanto de la fuente como del receptor.

Una superficie envolvente tiene la función en las pare-- des del refractario, bóvedas y piso de un horno de transmitir la transferencia de calor del gas a la superficie fría. La masa del gas radía en todas direcciones. La emisividad del gas evaluada a partir de  $p$  y  $L$ , como ya dijimos, es - direccional en cuanto a que denota la radiación que incide en cierto punto de la superficie fría en el envolvente del horno. Toda esta radiación se dirige desde varias secciones de la masa de gas hacia ese punto en particular. Sin embargo, varias secciones de la masa del gas también radían en -- otras direcciones. Algo de esta radiación puede dirigirse -

hacia la superficie del refractario (que no está fría), y el refractario a su vez refleja la radiación incidente, parte de la cual se dirige nuevamente hacia el punto de origen. - La masa de gas es bastante transparente a la rerradiación (aún más que a la reflexión, puesto que las características espectrales de la rerradiación dependen de las características de la superficie del refractario); por lo que el punto de la superficie fría recibe más radiación que la que sería evaluada a partir de la emisividad del gas.

Una manera efectiva de ilustrar el efecto del refractario, es empezar con una superficie envolvente que no contenga superficies frías. Este envolvente contiene un gas de cierta emisividad a temperatura dada. Si se practica una pequeña abertura en el envolvente, la radiación que surja a través de la abertura será igual a la proveniente de un cuerpo a la temperatura del gas, no importa la emisividad del gas siempre y cuando las paredes esten bien aisladas y el sistema haya alcanzado su equilibrio térmico.

Por otra parte, si la superficie envolvente es fría, cada punto de la superficie recibirá únicamente la radiación inicialmente dirigida hacia él, puesto que la radiación en otras direcciones es completamente absorbida y la emisividad del horno es igual a la emisividad del gas. Si la emisividad de la superficie es fría es menor que 1, se reflejará-

algo de la radiación, luego el efecto neto de la menor emisi vidad de la superficie fría será una disminución en la trans ferencia de calor; para una diferencia dada de temperatura, la disminución no será proporcional a la disminución en emi sividad. Las reflexiones serán absorbidas por el gas sola-- mente de una manera parcial, y la porción no absorbida se -- añadirá a la radiación primaria hacia algún otro punto de la superficie fría.

#### 4.1 Clasificación y Tipo de Calentadores a Fuego Direco y su Tipo de Alimentación.

La variedad de calentadores a fuego directo se clasifica de acuerdo al tipo de servicio que nos proporciona el fluido en el proceso.

- a) Calentadores
- b) Calentadores de craking
- c) Reformadores u hornos de vapor - hidrocarburos.

a) Calentadores. Estos se denominan así porque sola-- mente son utilizados para suministrar calor a las corrientes de proceso, evaporar una parte o toda la carga sin que exista un cambio químico. Podemos mencionar: calentadores de - carga al reactor, rehervidores de columnas, supercalentado-- res de vapor, calentadores de gas, etc. (fig. 4.1.1)

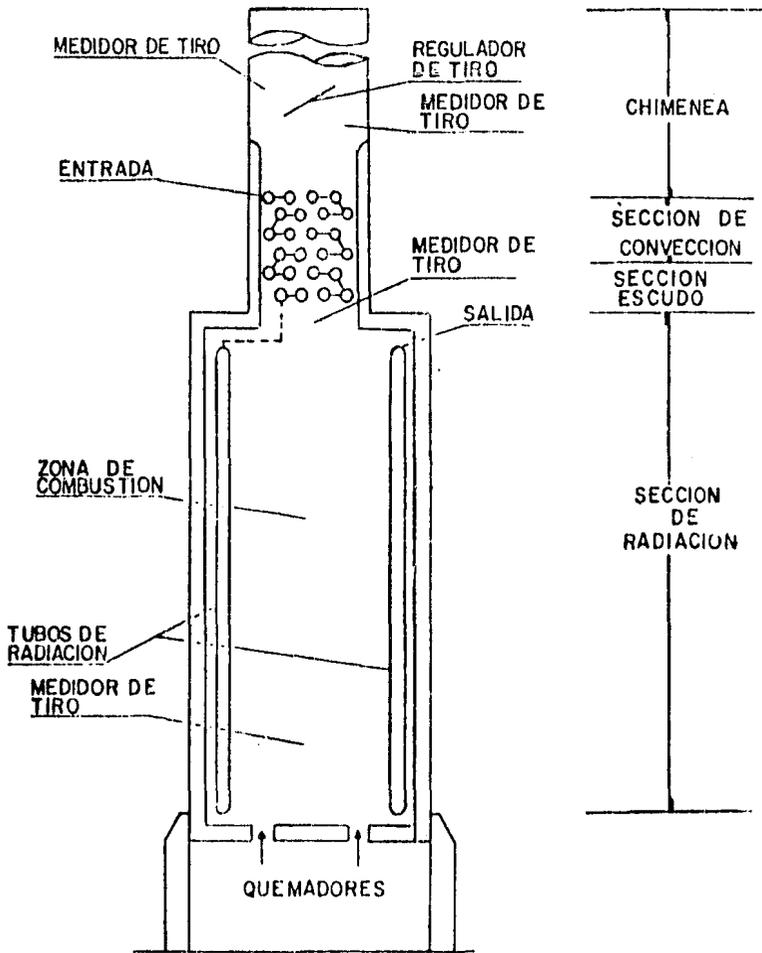


FIG.- 4.1.1. CALENTADOR CILINDRICO VERTICAL

b) Los calentadores de craking son en los que se efectúa una descomposición térmica para determinados productos -- para uso industrial, por ejemplo: hornos de producción de -- olefinas.

c) Reformadores. Son hornos en los 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 radiación.

De estos tres tipos de hornos, se hará alusión únicamente a los calentadores del inciso "a", debido a que los métodos de evaluación y diseño térmico se harán bajo una distribución de calor sin mayor problema en su control, salvo casos especiales en los que el fluido de proceso tenga cambios químicos.

Aunque no existe un criterio uniforme para designar a -- los diferentes tipos de calentadores a fuego directo, estos se pueden clasificar en dos grupos, de acuerdo a su forma -- geométrica.

I Calentadores Cilíndricos-Vertical.

II Calentadores Rectangular-Horizontal.

La posición de los tubos pueden ser:

Para "I" en la sección de:

Radiación	Convección
Tubos Verticales	Tubos Horizontales
Tubos Helicoidales	

Para "II" en la sección de:

Radiación	Convección
Tubos Horizontales	Tubos Horizontales
Tubos Verticales	

En la siguiente ilustración (fig. 3.1.2) mostraremos algunos diagramas simplificados de seis diferentes tipos de calentadores, donde la alimentación dependerá de la colocación e instalación de los quemadores.

#### 4.2 Criterios de Prediseño

El diseño de un calentador requiere de una serie de relaciones de intercambio de calor y contenido calorífico. Esto debe realizarse para cada corriente y para cada sección del calentador a fuego directo.

En este trabajo se presenta un método de diseño y evaluación conforme a lo siguiente:

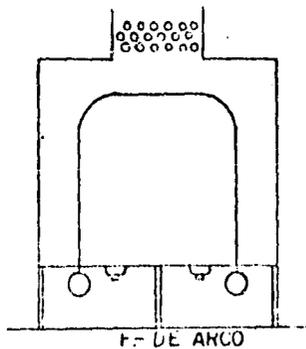
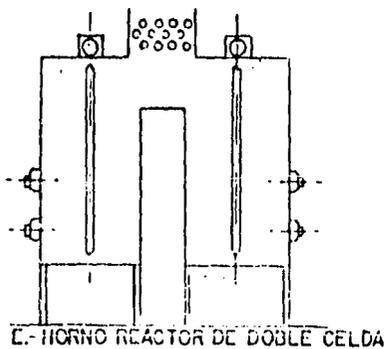
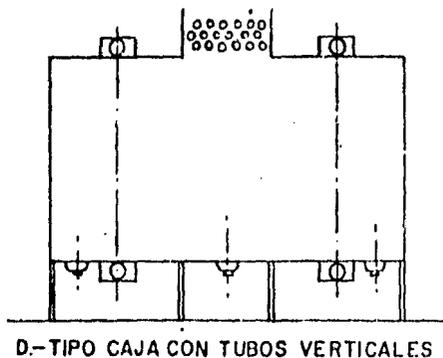
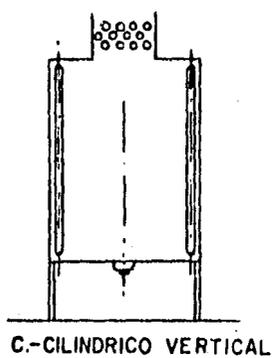
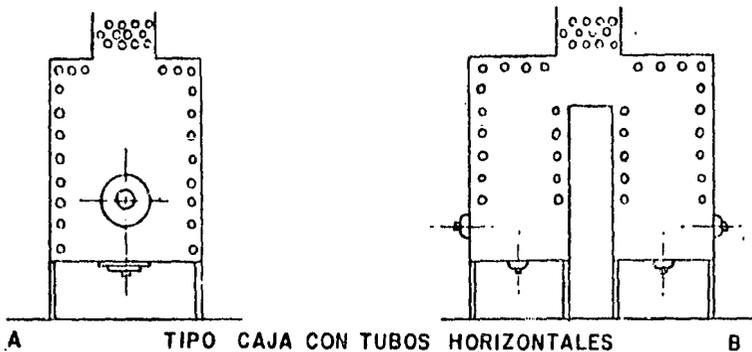


FIG.-3.1.2 TIPOS DE C.A.F.D.

a) Realizar estimaciones del tamaño del horno, consumo de combustible y recuperación de energía durante la parte del diseño.

b) Evaluar ofertas de vendedores con miras a comprar mejor las ofertas.

c) Se deberá usar el método y constantes que apliquen para su rango de operación y así obtener un mayor grado de exactitud.

d) Anticipar los efectos de modificar propuestas para un horno existente.

Las principales variables que determinan el tipo de 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 flujo de proceso.
- d) Carga térmica.
- e) Espacio para colocación del equipo.

Ahora bien, entendemos como criterios de prediseño aquellos que van incluidos en los métodos de cálculo (diseño o evaluación) y que son básicos para un mejor entendimiento del

problema.

A. Aire para la combustión.

De las características principales que deben tomarse en cuenta para el calentador es el aire que hay que suministrar para que se efectúe la combustión, debiéndose tomar 3 posibles relaciones aire-gas.

A.1 Aire teórico: es el aire que podría llevar a cabo la combustión y la relación en peso aire/combustible.

$$EC. A.1 \quad A_T = 0.115 (\% C) + 0.345 (\% H_2) + 0.0432 (\% S - \% O_2)$$

$A_T$  = Relación peso de aire teórico (Lb aire Lb comb)

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

$\%H$  = % peso de hidrógeno en el combustible.

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

$\%O_2$  = % peso de oxígeno en el combustible.

A.II. Aire práctico: es el aire que se utiliza realmente para efectuar la combustión, teniendo que ser mayor que el teórico.

$$EC \quad A.II \quad AP = A_T \left( 1.0 + \frac{\% EXC.}{100} \right)$$

$AP$  = Aire práctico Lb aire/Lb combustible

$\% EXC$  = % peso del exceso de aire.

Donde el exceso de aire se determina, utilizando quemadores de tiro forzado. Para casos donde el combustible sea gaseoso se recomienda 20 %.

A.III Aire precalentado: Este aire se utiliza para disminuir el % de exceso de aire, ya que es más fácil la ignición de la mezcla (considerando que la mezcla aire combustible es mejor) provocando un incremento en la transferencia de calor.

#### B. Pérdidas de Calor por las Paredes.

Otra característica de prediseño, son las pérdidas de calor por las paredes. Estas existirán en cualquier horno que se diseñe y la única manera en que se pueden disminuir es haciendo una adecuada selección del refractario y el aislante.

Porcentajes de Pérdidas que se Registran en los Calentadores.

	Rectangular-Horizontal	Cilíndrico-Vertical
Radiación	2 %	1.5 %
Convección	1 %	1. %
Total $Q_L$ =	3 %	2.5 %

$Q_L$  = Calor Liberado

#### C. Distribución de Calor Absorbido.

Una de las características importantes es el calor absorbido por la corriente de Proceso. determinándola por la siguiente ec.

$$\text{EC. C.1} \quad Q_A = \frac{\eta \text{ TP}}{100} \times Q_L$$

$Q_A$  = Calor absorbido por la corriente de proceso BTU/ht.

$\eta$  TP = Eficiencia total del calentador a fuego directo -- para el servicio.

$$\text{EC. } Q_A = q_R + q_c$$

$q_R$  y  $q_c$  son: calor absorbido en las secciones de radiación y de convección respectivamente, por la corriente de proceso. BTU/ht

Se tiene conocimiento que el total del calor transmitido en el calentador a fuego directo para la corriente de proceso, anda alrededor del 62 al 70 %\*, en la sección de radiación y el resto a la sección de convección.

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

Al empezar el diseño se inicia con 0.7 con el objeto de tener menor área en la sección de radiación.

El porcentaje descrito con anterioridad depende de la -- geometría de la sección de radiación, de la temperatura del flujo de proceso y los requerimientos de calor (Flux).

D. Selección del Flux Promedio en la Sección de Radia  
ción.

Conocemos que el Flux es la cantidad de calor absorbida por unidad de área. El Flux se selecciona de acuerdo al servicio del calentador a fuego directo y el flujo que maneja. El Flux promedio es:

$$\text{EC. D.1} \quad \text{Flux} = \frac{q_r}{A_R}$$

Flux = Flux promedio en la sección de radiación;  
BTU/hr pie<sup>2</sup>

$A_R$  = Area de transferencia de calor de la sección de radiación: pies<sup>2</sup>.

E. Selección del Número de Pasos y Diámetro de los --  
Tubos.

Tanto la selección de los pasos y el diámetro del tubo, -- son puntos importantes para la buena selección de nuestro calentador a fuego directo, basándonos en la masa de velocidades y el tipo de servicio al que se aplicará.

F. Rendimiento del Horno y Rendimiento de la Sección de Radiación.

El rendimiento total del horno se define como el calor - total absorbido, dividido entre el calor total liberado.

$$\text{EC. F.1 } \eta_T = \frac{QD}{QL} \times 100$$

$\eta_T$  = Rendimiento total del Horno en tanto por ciento.

QD = Calor total absorbido de diseño por el fluido de proceso y servicios adicionales, BTU/hr.

QL = Calor total liberado por el combustible BTU/hr.

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

$q_{SA}$  = Calor absorbido por los servicios adicionales BTU/hr.

Rendimiento de la Sección de Radiación.

$$\text{EC. F.2 } \eta_R = \frac{q_R}{QL}$$

Esta última depende de la geometría del mismo horno.

G. Arreglos de los Tubos de la Sección de Convección.

El arreglo de los tubos en la sección de convección, se determina en base al número de pasos y al ancho de la sección de radiación sobre la que se van a colocar. Fundamentalmente, los arreglos deben de ser colocados manteniendo el flujo paralelo para obtener la misma absorción de calor por paso, en la fig. 4.2.1 se observan algunos arreglos típicos.

El espaciamiento entre tubos por lo general es 2 veces - el diámetro nominal del tubo, alternados formando triángulos equiláteros, y una vez el diámetro nominal a la distancia de la pared, utilizando deflectores para conservar esa distancia y forzar el contacto de los gases calientes con la superficie de los tubos.

Hasta ahora, se han mencionado algunos criterios de prediseño basados únicamente en el intercambio de calor durante la operación del calentador a fuego directo. Ahora nos toca decir las dimensiones del calentador donde se debe conciderar las más óptimas, para que ocupen sólo el área disponible en la plataforma marina de compresión.

Las dimensiones de los calentadores cilíndricos con tubos verticales, contienen generalmente retornos tipo U, porque se usan principalmente para fluidos limpios. Los retornos van colocados dentro de la sección de radiación y también se absorbe calor a través de las paredes de éstos (las dimen

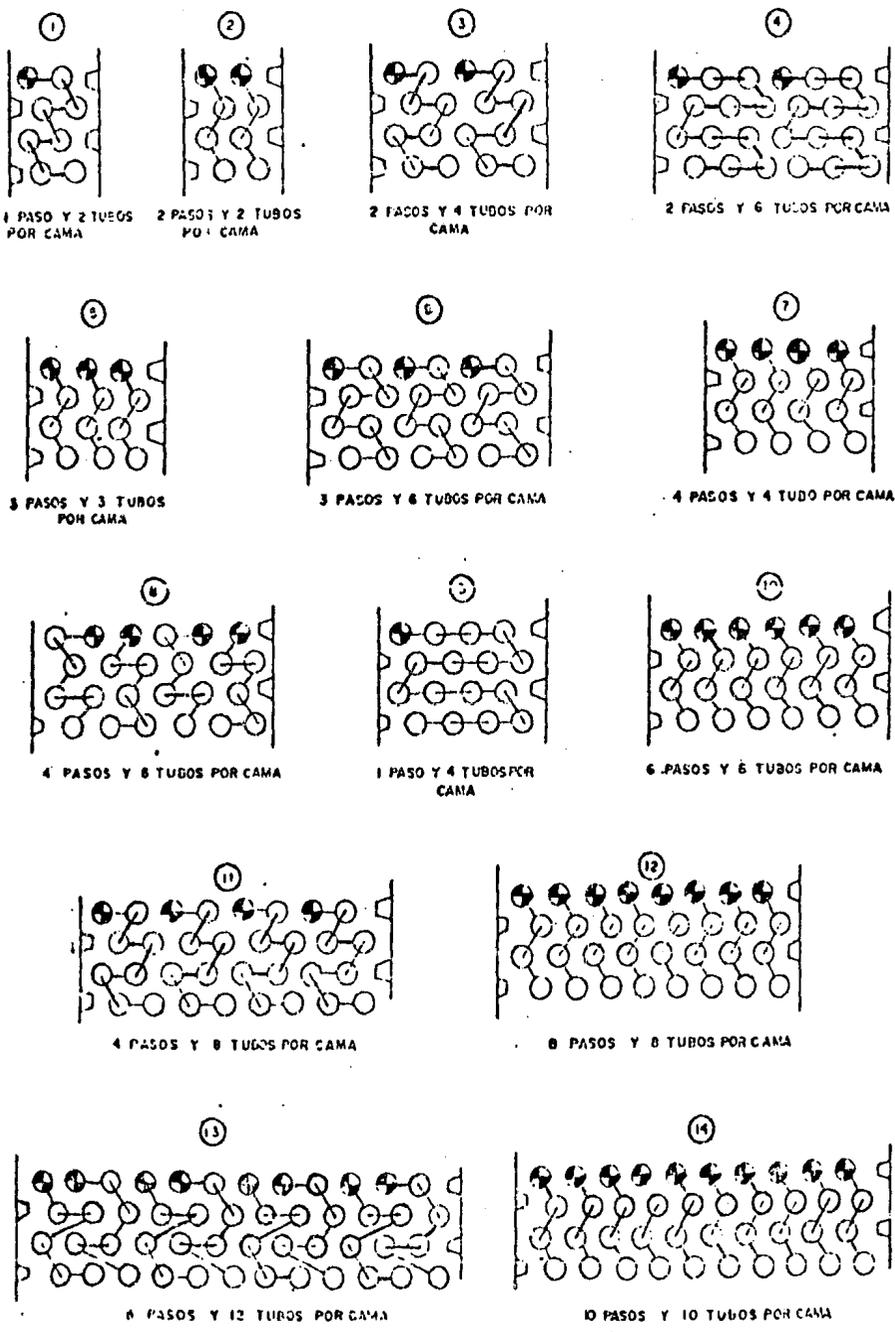


Fig. 4.2.1 ARREGLOS TIPICOS DE SECCION DE CONVECCION

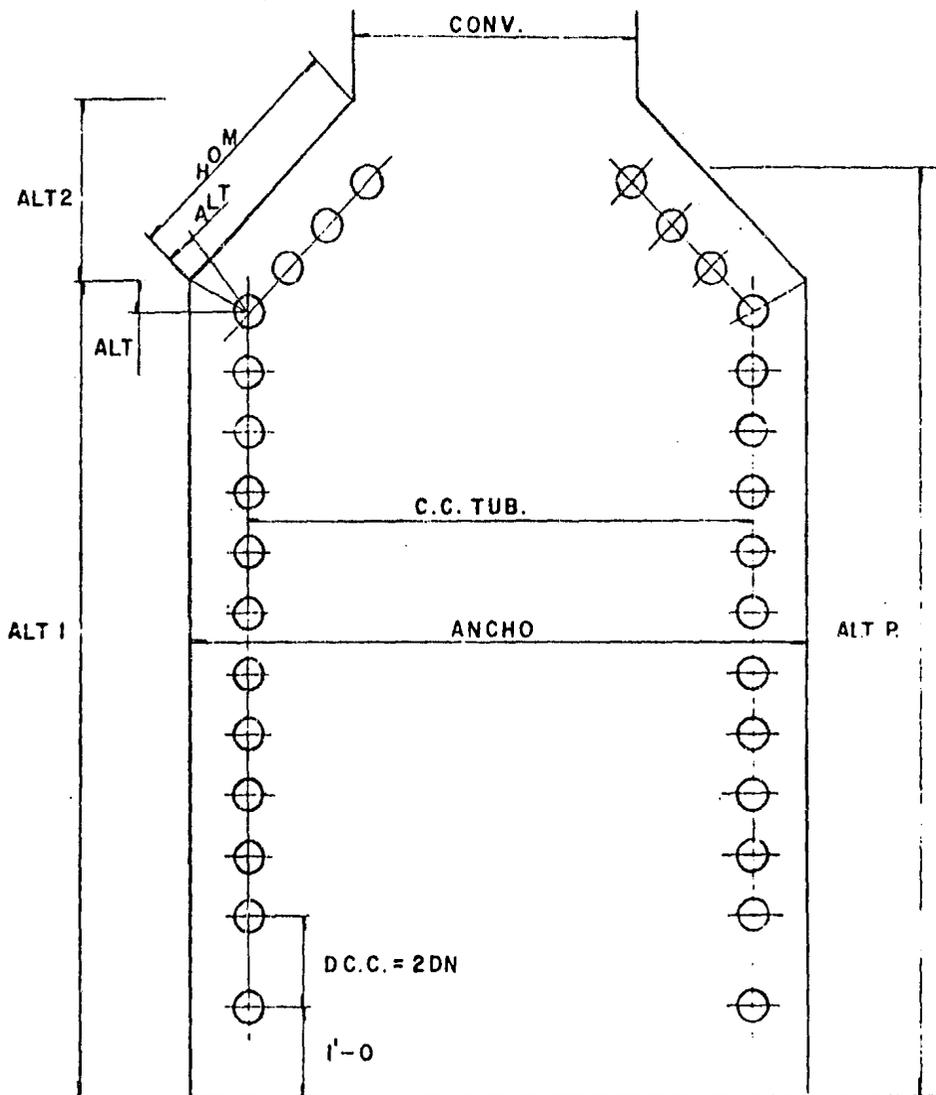


FIG. 4.1.3 DIMENSIONES DE UN CAFD RECTANGULAR CON TUBOS HORIZONTALES.

siones principales se muestran en la fig. 4.1.3).

La relación de ecuaciones se basan en:

Diámetro/Diámetro. Altura/Diámetro.

Para el cálculo del área de la sección de radiación, se utiliza la fórmula:

$$\text{EC. 1 .} \quad A_i = \frac{Q_{rti}}{\text{Flux}}$$

$Q_{rti}$  = Calor absorbido inicial en la sección de radiación por celda BTU/hr.

$A_i$  = Area inicial de la sección de radiación - pies<sup>2</sup>.

Cálculo del número de tubos

$$\text{EC. 2} \quad N_{ti} = 1.253 \sqrt{\frac{A_i}{DCC \times A_u}}$$

$N_{ti}$  = Número de tubos inicial, éste número se redondea al número inmediato superior.

$A_u$  = Area unitaria extrema por unidad de longitud pie<sup>2</sup>/pie

DCC = Distancia Centro a Centro de los tubos igual  
2 DN, pies (DN = Diámetro Nominal del tubo).

Para el número de tubos por paso.

$$\text{EC. 3} \quad N_{tp} = \frac{N_{tir} R}{NPA}$$

$N_{tp}$  = número de tubos por paso.

$N_{tir}$  = número de tubos por radiación.

NPA = número de pasos

Para el cálculo de la longitud efectiva de los tubos.

$$\text{EC. 4} \quad LTE = \frac{A_i}{N_{tir} \times A_u}$$

LTE = longitud efectiva.

En este caso la longitud efectiva es igual a la longitud de la sección de radiación. Por otro lado, si los retornos van por dentro, la longitud efectiva de los tubos es la misma, pero la de los tubos se calcula:

$$\text{EC. 5} \quad L_t = \frac{A_i}{N_{tir} \times A_u} - 1.5$$

y la longitud o altura de la sección de radiación es:

$$\text{EC. 6} \quad \text{LR} = \text{Lt} + 2.0 \times \text{UBED} + \text{Lt} (\text{CEL}) + 1.0$$

LR = Longitud de la sección de radiación, pies

UBED = Altura del retorno, pies

Lt = Longitud Recta de los tubos

CEL = Coeficiente del factor lineal a la temperatura promedio.

Cálculo del diámetro de la sección de radiación.

$$\text{EC. 7} \quad \text{CCTUB} = \frac{\text{DCC}}{\text{SEN} \left( \frac{360^\circ}{\text{NTIR} \times 2} \right)}$$

$$\text{DIAM} = \text{CCTUB} + 3 \text{ DN}$$

#### 4.3 Algunas evaluaciones térmicas de la sección de radiación.

A. Para encontrar las evaluaciones en la sección de radiación se realiza un balance térmico del calor que se absorbe en dicha sección y éste se divide entre el área total de radiación.

Para comprobarlo únicamente se compara flux inicial contra el flux real.

Si el flux inicial resulta menor se aumenta el área de radiación, aumentará un tubo por paso sucesivo, si por el contrario resulta que sea menor, debe disminuir sucesivamente el área de radiación.

B. En algunos calentadores a fuego directo la superficie que absorbe calor generalmente consiste en los tubos que estan colocados enfrente de una pared refractaria. Parte de la radiación emitida llega a los tubos directamente absorbiendo y la otra re-radiandola.

C. Consideremos la emisividad de los gases de combustión. Los componentes en el gas de combustión tienen una gran contribución para emitir la radiación, entre los que se cuentan bióxido de carbono y agua. Donde la concentración de cada uno de estos componentes en las dimensiones del hor-

no, temperatura del gas y la superficie de absorción, nos proporcionará la emisividad adecuada.

#### 4.4 Quemadores

Una de las secciones que se considera importante dentro del calentador, es sin duda el quemador, ya que de él depende el calor suministrado en la zona radiante.

A los quemadores los podemos clasificar dependiendo del tipo de combustible que se vaya a manejar:

- I. Quemadores de aceite.
- II. Quemadores de gas
- III. Quemadores de combinación.
- IV. Quemadores de sólidos.

Dentro de la clasificación podemos distinguir 2 tipos; - de tiro natural y de tiro forzado.

Para instalaciones de tiro natural, el suministro de aire es proporcionado por la succión o por el efecto de aspiración del aire en el momento que sale de la boquilla.

Cuando son requeridos quemadores de gran capacidad, el aire es suministrado al registro del quemador por un ventilación

dor de tiro forzado.

I. Quemadores de aceite. Estos quemadores de aceite - vaporizan o atomizan el combustible, mezclándolo internamente con el aire suministrado para la combustión.

II. Quemadores de gas. Como su nombre lo indica, el combustible que quema es el gas natural, los quemadores de gas son divididos en dos tipos de alta y baja presión. Esta clasificación se deriva de la presión de gas para proporcionar la operación requerida.

Los quemadores de baja presión son diseñados usualmente para capacidades relativamente bajas, y operan con gas natural a una presión que va desde 1/8 a 4 psi. Una construcción de multicorrientes se emplea para proporcionar el máximo de mezclado de gas y aire a la presión disponible. El gas se conduce en varias pequeñas corrientes, por surtidores individuales, hacia la abertura de descarga que se encuentra al frente del quemador. El aire para la combustión se introduce por el tiro del horno, fluyendo alrededor de los surtidores, efectuándose la mezcla aire-gas que se quemará tan pronto entre al horno.

Los quemadores de alta presión para líneas de transporte de gas, trabajan con presiones desde 2 a 25 psi. Generalmente

te estos quemadores se utilizan para generación de vapor.

III. Quemadores aceite-gas. Los quemadores de combinación resultan de la adaptación de cañones de aceite a los diferentes tipos de quemadores de gas.

El quemador de gas de este tipo es arreglado para quemado simultáneo o alternado del combustible.

#### 4.4.1 Selección del Número y Tamaño de los Quemadores.

La buena selección de un quemador depende de varios factores. Principalmente se selecciona de acuerdo al tipo de combustible y el tipo que se vaya a emplear, posteriormente de acuerdo a los siguientes factores:

- a) Capacidad del quemador
- b) Relación de rango de capacidad
- c) Condiciones de alimentación de combustible, aire y vapor de agua.
- d) Tipo de flama
- e) Tipo de piloto
- f) Formación de contaminantes
- g) Exceso de aire
- h) Poder calorífico del combustible
- i) Composición del combustible

- j) Dimensiones del calentador
- k) Nivel de ruido

El número de quemadores ha de seleccionarse tomando en cuenta que entre mayor sea el número de ellos más uniforme será la distribución del calor.

#### PROCEDIMIENTO PARA SELECCIONAR EL NUMERO DE QUEMADORES

Para los calentadores a fuego directo rectangulares con quemadores en el piso, se toma el valor del largo de la cámara de radiación y se tantea tomando un diámetro de quemadores inicialmente 2" - 0" y 7" de separación entre ellos, esto es para evitar el mezclado de flamas, obteniendo así un número de quemadores inicial y con esto se hace lo siguiente:

$$Q_1 / \text{Quemador} = \frac{Q_1}{\text{Num. de Quem.}}$$

$Q_1 / \text{Quemador} = \text{Capacidad por quemador, BTU/hr.}$

Con esto se compara la distancia entre el centro del quemador y el centro de los tubos para verificar que no sea menor que la recomendada para evitar choque de flama en los tubos (Tabla II). En caso de que no cumpla, se deberá ampliar ésta distancia modificando las dimensiones de la cámara.

Posteriormente, se puede variar el número de quemadores si es que la distancia mínima se cumple, y así disminuir el número de quemadores de acuerdo al arreglo estructural que se le dé al horno.

También se verifica la altura de los tubos más cercanos en dirección vertical, tomando en cuenta que la altura teórica de la flama es de 1 PIE con una liberación de MMBTU/h y dicha altura de la flama no deberá ser mayor de la mitad de la distancia a que están los tubos más cercanos en dirección vertical.

Para los hornos cilíndricos se sigue el mismo criterio de espaciamiento, sólo que el centro de los quemadores es circular.

Teniendo ya el número de quemadores y la liberación de calor por quemador, se selecciona el quemador, (del tipo deseado según catálogos de fabricantes)

TABLA II \*

Lib. <sup>MAX</sup> /QUEM. MMBTU/hr.	Dist. Vert. Min.	Dist. Centro Quem. a Tubos
2	6' - 0"	2' - 6"
4	10' - 0"	3' - 0"
6	14' - 0"	3' - 6"
8	20' - 0"	4' - 0"
10	24' - 0"	4' - 6"
cada 2 MMBTU/hr más	agregar 4' - 0"	agregar 0' - 6"

#### 4.4.2 Cálculo de la Chimenea

La chimenea es el conducto de salida de los gases de combustión de un calentador a fuego directo a la atmósfera, además de proporcionar un tiro para este efecto.

El tiro es necesario para el funcionamiento del hogar de un horno, con el fin de poderle suministrar el aire necesario a los quemadores para la combustión y arrastrar los gases de combustión hacia el exterior. El tiro puede ser natural o mecánico, el primero se produce térmicamente y el segundo mediante inyección de vapor o de aire con ventiladores. El tiro natural no consume energía mecánica.

Se le llama tiro disponible a la energía de presión con -

que se cuenta para la altura de la chimenea.

Se le llama tiro efectivo a la energía neta de presión -- que se tiene en un punto determinado, considerando las pérdidas de presión y temperatura.

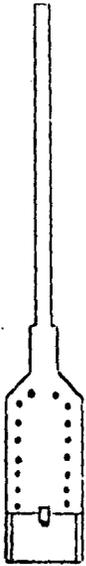
La colocación de la chimenea en los calentadores a fuego directo, puede ser de diversas formas, como lo ilustra la -- Fig. 4.4.2.A

El tiro natural disponible en una chimenea es igual a la diferencia en peso de una columna de aire frío del exterior -- y una columna de gases calientes en la chimenea, menos las -- pérdidas debido a fricciones internas y las pérdidas debido -- a la aceleración de los gases.

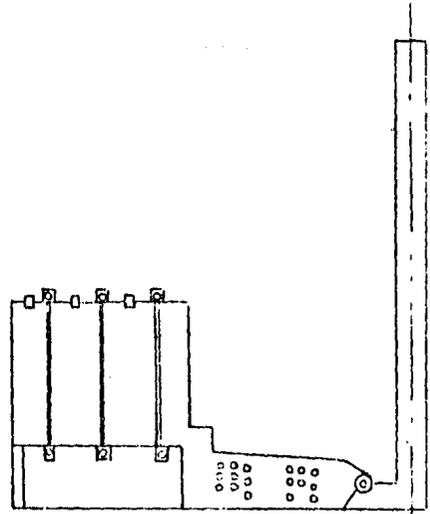
El valor de la diferencia de presión denominada tiro na -- tural depende de la altura de la boca de la chimenea sobre -- el nivel de los quemadores y de la diferencia media de temperatura entre los gases de combustión contenidos en la chime -- nea y el aire del exterior.

El tiro mecánico es el tiro creado por la acción de inyec -- tores de aire o vapor, mediante ventiladores.

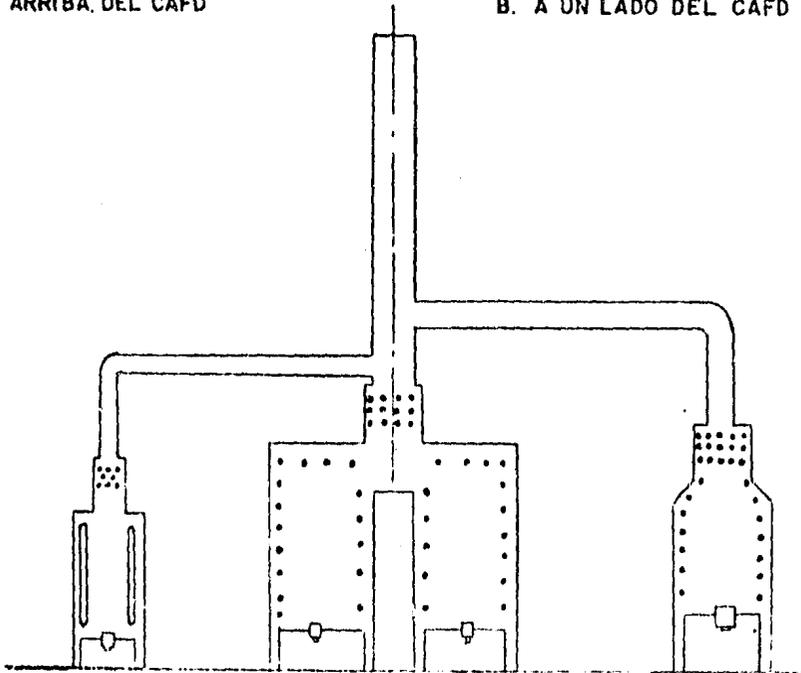
En dichos casos, la chimenea necesaria para crear el tiro



A. ARRIBA DEL CAFD



B. A UN LADO DEL CAFD



C. COMUN PARA VARIOS CAFD

FIG. 4.4.2A COLOCACION DE CHIMENEAS EN CAFD

requerido puede resultar de altura y costos excesivos, dando como consecuencia recurrir al tiro mecánico.

Los hornos equipados con este tiro no requieren de chimeneas altas y costosas como las exigidas con tiro natural, - sin embargo, se solicitan así de altas por cuestiones reglamentarias de contaminación.

El diámetro de la chimenea se calcula de la siguiente manera:

$$D_{ch} = \sqrt{\frac{0.47 T_g \times G_c}{V_g P_g}}$$

$$T_g = T_{gs} - 50$$

$D_{ch}$  = Diámetro libre de la chimenea, pies.

$T_g$  = Temperatura promedio de los gases de combustión en la chimenea  $^{\circ}R$ .

$T_{gs}$  = Temperatura de los gases de combustión en la base de la chimenea,  $^{\circ}R$ .

$G_c$  = Flujo de gases de combustión, Lb/hr

$P_g$  = Presión de los gases de combustión, Lb/pulg<sup>2</sup>. - (generalmente igual a la atmosférica).

$V_g$  = Velocidad de los gases de combustión, pies/hr - (se selecciona entre 20 y 30 pies/seg. o sea -

72,000 a 108,000 pies/hr)

Para calcular el tiro requerido, se toman en cuenta los siguientes puntos:

- a) Pérdidas en la cámara de atenuación de ruido.
- b) Pérdidas en los quemadores.
- c) Presión en la cámara de radiación.
- d) Pérdidas por fricción en la zona de convección.
- e) Pérdidas por fricción en la chimenea.
- f) Pérdidas por aceleración de los gases de combustión.

#### 4.5 Refractarios y sus Aplicaciones.

Los refractarios se pueden clasificar de acuerdo a su composición química y a su uso o forma de instalación.

Conforme a su composición química:

- a) Arcillosos.
- b) Aluminosos
- c) Magnésicos - Sílicos
- d) Cálcicos - Magnésicos
- e) Carbonosos
- f) Especiales

Conforme al uso:

- a) Ladrillo refractario.
- b) Ladrillos refractario - Aislante.
- c) Morteros.
- d) Refractario Plásticos
- e) Concretos Refractarios Aislantes.

El uso de refractarios aislantes en los calentadores a fuego directo, nos dan como principales ventajas:

I. Economía en el combustible, debido a la menor pérdida de calor y a la mayor capacidad de retención de calor de los refractarios aislantes.

II. Disminución del tamaño y peso del revestimiento del horno debido al peso ligero de los mismos.

III. Aumento de producción debido al menor tiempo de calentamiento.

IV. Mejor control de la operación debido a que las temperaturas se pueden controlar más fácilmente.

V. Protección del personal debido a las temperaturas bajas que se pueden obtener en las paredes de los calentadores.

Para la selección del refractario adecuado para las condiciones de servicio requeridas es laboriosa y complicada, - ya que se conjuga el factor experiencia con las condiciones de operación, los detalles de diseño y la más importante, el factor económico.

Considerando estos puntos, el factor experiencia es muy importante y subjetivo, y en muchos de los casos los cálculos son puntos de partida para la decisión adecuada.

A. Factores relacionados con la operación de los calentadores \*

- a) Clase de calentadores a fuego directo.
- b) Continuidad de Operación.
- c) Tipo de Combustible.
- d) Temperatura del Horno.
- e) Rapidez de Intervalo de los Cambios de Temperatura
- f) Cantidad de Calor Liberado por Unidad de Volumen.
- g) Naturaleza del Material que se va a procesar.
- h) Ataque Químico por óxidos de metales, escorias, cenizas y cualquier otro agente destructor.
- i) Choque de la flama contra las paredes.
- j) Colocación de los Quemadores.

B. Factores relacionados al diseño y construcción del -

**Calentador. \***

- a) Tipo de Calentador a fuego directo.
- b) Cantidad Máxima de calor por unidad de volúmen.
- c) Carga que debe soportar.
- d) Condiciones de calentamiento.
- e) Ventilación de las partes del calentador.
- f) Tipo de construcción.
- g) Método de sentado y soporte.
- h) Espesor de juntas.
- i) Naturaleza del mortero empleado.
- j) Juntas de expansión.
- k) Mecánica de las partes en movimiento

**C. Factores Relacionados a los Refractarios.****I. Propiedades de los ladrillos a temperatura atmosférica.**

- a) Habilidad de soportar el manejo normal.
- b) Peso por volúmen, porosidad, permeabilidad.
- c) Composición química y mineral.
- d) Tamaño de ladrillo.
- e) Diseño de piezas especiales.

**II. Propiedades a temperaturas elevadas.**

- a) Refractabilidad.
- b) Temperatura de vetrificación.
- c) Expansión térmica reversible.
- d) Resistencia al choque térmico.
- e) Resistencia al ataque químico.
- f) Resistencia a los esfuerzos mecánicos y al impacto.
- g) Permeabilidad de gases y líquidos.
- h) Estabilidad de volúmen, porosidad afectadas por las condiciones del horno.
- i) Conductividad térmica.

### III. Factores Económicos:

- a) Costo del material en la obra.
- b) Costo de instalación.
- c) Tiempo de servicio.
- d) Posibilidad de recuperación del refractario usado.

La variedad de los factores para la selección del refractario es, sin duda, muy complejo, sin embargo los resultados obtenidos del cálculo y la experiencia son relativos pero nos servirán para simplificar hasta cierto punto el diseño.

## 5. OPERACION E INSPECCION.

Hemos mencionado, para qué se requiere el horno, donde está ubicado dentro del proceso, el papel tan importante que juega para la deshidratación y el endulzamiento del gas. -- También se ha dicho lo más fundamental del diseño, lo único que nos hace falta decir es cómo debe operarse y un medio -- preventivo para su mantenimiento e inspección periódicamente.

Ahora bien, debemos considerar dos inspecciones, una antes del arranque y otra después de puesta en operación.

La inspección antes del arranque debe efectuarse cusamente para corregir todos los posibles errores que pudie-- ran existir durante su construcción e instalación. Los cua-- les al presentarse después del arranque podrían ocasionar serios problemas como maniobras peligrosas e incluso al paro -- total del horno.

Para efectuar una inspección antes de ponerlo en ocera-- ción, se requiere de los siguientes procedimientos:

### A. Terminada su construcción.

- Verificar que todos los refuerzos que fueron útili-- zados para el transporte y montaje hayan sido quita

dos.

- Verificar que no exista material inflamable o desechos dentro del calentador.

B. Quemadores.

- Verificar la posición del quemador contra los dibujos del fabricante.
- Asegurarse que las boquillas de los quemadores y el distribuidor de gas esté puesto correctamente.
- Que las tuberías de interconexión permitan la alineación vertical del centro del quemador y de las boquillas. En la mayoría de los casos, si las boquillas se instalan equivocadamente pueden provocar daños a tubos y soportes.
- Asegurarse de que los registros de entrada de aire y reguladores de tiro funcionen libremente.
- Se deberán cerrar las válvulas de control de los quemadores, excepto una para que se efectúe la prueba de presión máxima y flujo total de cada quemador. - esta misma operación se realiza para uno o varios -

quemadores.

- Para el caso de que fuera un combustible líquido se sugiere que circule de 3 a 4 horas para asegurar su temperatura y viscosidad adecuada. En el caso de que fuera gas, deberá drenar el tanque acumulador para evitar que los condensados pasen al quemador de gas.

#### C. Instrumentación.

- Deberán inspeccionarse todos los controladores de flujo, temperatura, presiones y mecanismos de paro de seguridad antes del arranque. Para poder efectuar los ajustes necesarios a las temperaturas en las diferentes áreas (chimenea, líneas que manejan el fluido de calentamiento, zona de radiación y convección, etc) deberán verificarse las terminales de los indicadores de temperatura.

#### D. Controlador del Tiro.

- En los casos donde se involucran controladores de tiro, tanto en la chimenea como en los quemadores, se deberán verificar las posiciones de completamente abierto y completamente cerrado, marcando en los controladores la posición adecuada. Todos sus mecanismos deberán estar libre de obstáculos y siendo de primordial importancia que

el diseño coincida con los dibujos.

E. Tubería.

- Es importante asegurar que los tubos estén limpios, que no contengan residuos, impidiendo así el movimiento del fluido. Antes de que circule cualquier combustible, -- fluido de proceso o vapor de agua, la tubería y conductores del quemador debe realizarse un barrido minucioso con aire comprimido para asegurar un flujo satisfactorio.

F. Conexiones.

- Se deben sellar todo tipo de conexiones como bridas, codos, niples, válvulas, etc.

Por otro lado, cuando el horno ha sido puesto en operación, debe observarse la flama y la sección de radiación a intervalos de tiempo, para verificar posibles patrones irregulares de flama y puntos calientes en el horno.

Puesto en operación se requiere de los siguientes cuidados:

A. Quemador.

Uno de los problemas más comunes en el horno es la corrosión, erosión y obstrucción en las boquillas del quemador.

Para la corrosión y erosión se puede inclinar el quemador y es necesario acortar la flama disminuyendo el suministro del combustible. con lo que respecta a la obstrucción, esto es muy común por la mala atomización, causando depósitos de carbón sobre la boquilla.

#### B. Tubería

En los tubos deberá observarse, para poder detectar signos de arqueado, esto ocurre a menudo cuando en los quemadores existe una sobre carga. Bajo ninguna circunstancia deberá permitirse que se flameen los tubos, esto daría como consecuencia la pronta oxidación del tubo y la transferencia de calor indefinida, acortando la vida útil del tubo.

#### C. Refractario.

Normalmente el refractario puede verificarse por observación visual dentro de la zona de radiación o puntos calientes en la superficie externa del calentador. Si el daño es serio el operario determinará si es necesario el patio del horno.

#### D. Exceso de Aire.

Dependiendo del tipo de quemador, se aplicarán los siguientes rangos:

Quemador de Gas . . . . . 15 - 30 %

Quemador de Aceite . . . . . 30 - 45 %

Estos ajustes los podemos efectuar cerrando parcialmente el controlador de tiro en la chimenea, reduciendo así el tiro negativo en todo el calentador, provocando menor suministro de aire.

Puesto en operación, se hace necesaria una inspección posterior al arranque para evitar paros continuos y peligrosos que vendrían a provocar cuantiosas pérdidas.

La función de una inspección es para mantener segura el área de una refinería, así como las condiciones óptimas de operación, se requiere de un grupo exclusivo que no esté provisionado por otras actividades de la planta, que sea la que se encargue de cuidar la buena operación futura, requiriendo que registre los datos de operación y construcción, y un manual de inspección que le permita al usuario detectar fallas en los equipos.

La función de inspección requiere de 4 actividades principales:

- a) Obtención de datos del equipo y de su operación en planta.
- b) Registro de datos e información en forma de récord.
- c) Analizar y reportar los resultados, así como recomendar la solución correcta para mantener un tiempo de vida útil, adecuado y seguro del equipo.
- d) Preparar la información para la inspección en pasos y asegurarse de que el equipo dará el servicio durante el siguiente período de operación.

El período mayor debe partir de los pasos programados y a la experiencia tenida en determinado calentador.

La frecuencia y duración de la inspección depende de los factores tales como presión, temperatura, acción corrosiva sobre los materiales expuestos y primordialmente a la experiencia en calentadores similares.

Para calentadores sujetos a altas características de operación, como las expuestas con anterioridad, deberán revisarse con más frecuencia.

## 6. SELECCION DE LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO PARA UNA PLATAFORMA MARINA DE COMPRESION DE GAS.

Esta sección constituye una parte fundamental en el diseño del equipo y no puede llevarse a efecto de una manera aislada, debido a que no está constituida por un simple análisis, sino por el contrario, se ven involucrados factores de muy diversa índole, que afectan directamente el comportamiento operacional y la vida útil del mismo. Por lo tanto, dependiendo de la naturaleza del equipo y servicio a que esta destinado se determinarán las condiciones específicas y la adaptación de una determinada geometría, con el objeto de lograr la optimización técnica-económica.

En la sección del calentador deberá ir implícita la colocación del serpentín de radiación, ya que forma parte de él y de los requerimientos que deben cumplir para el buen funcionamiento del calentador.

Los puntos que se deben considerar en la selección de los calentadores es la siguiente:

### 1. Servicio

Los hornos tipo caja y cabina son adaptables para todos los procesos de refinería, sin embargo, los hornos verticales

cilíndricos, han sido utilizados en servicios a altas temperaturas. El uso de hornos tipo vertical cilíndrico, se ha extendido a ciertos servicios de alta temperatura (superiores a 850 °F) para diseños totalmente radiante pero con una disminución de la eficiencia térmica.

## 2. Tamaño

Este se refiere a los términos de calor absorbido por el fluido de proceso. Los rangos para el tamaño normal de los tres tipos de hornos anteriores, dependen del costo y la eficiencia del horno.

## 3. Combustible

Desde el punto de vista del combustible, los hornos verticales cilíndricos que tienen sección de convección, solamente deberán calentarse con gas. La razón de esto es que los tubos aletados de la sección de convección tienden a fallar cuando se usan combustibles líquidos. Con esta excepción todos los demás tipos pueden usarse cuando se disponga de gas o líquido.

## 4. Costo

Una comparación de costos para un proceso en particular

diferirá de refinería a refinería, dependiendo de factores como tipo de combustible empleado y eficiencia del horno. Por ejemplo, si no se dispone de gas combustible, esto puede excluir un horno vertical cilíndrico con sección de convección. En muchos casos, el uso de un horno vertical cilíndrico todo radiante resultará en eficiencias más bajas, y en consecuencia la economía tendrá a favor de otro tipo de horno. Inversamente, si se dispone de combustible gaseoso, entonces los hornos verticales cilíndricos pueden ser favorables para cargas de calor mayores a 70 MMBTU/hr. Una proposición muy general es que los hornos verticales cilíndricos son menos costosos y los tipo caja los más caros de los tres tipos considerados. Recientemente se ha tomado más énfasis al diseño de unidades de proceso a bajo costo, para los cuales es importante una baja inversión inicial. Como resultado de este análisis, muchas de las consideraciones deberán reducir los costos de inversión del horno. El diseñador debe considerar hornos prefabricados que sean comercialmente disponibles y deberá investigar el costo inicial. Siempre que se consideren bajos costos de inversión, el diseñador del horno estudiará el efecto sobre los costos de operación y vida del horno.

##### 5. Disponibilidad

Antes de seleccionar y considerar un horno en particular

debe chequearse su disponibilidad, entendiéndose como disponibilidad la posibilidad de poder conseguir cualquier refacción que se requiera en el momento que se necesite.

## 6. Requerimientos de Espacio

Los requerimientos de área en orden ascendente, son como sigue:

Vertical. Cilíndrico, Cabina, Caja.

Además del área real ocupada por los hornos, también se deberá dejar espacio adicional para el desmontaje y limpieza de los tubos en el caso de hornos con tubos horizontales, de los tipos caja y cabina.

### 6.1 Dimensionamiento del Horno

Los antecedentes que contemplamos en capítulos anteriores nos indican que para seleccionar el dimensionamiento de nuestro horno tenemos que tomar en cuenta:

- a) La carga térmica que requerimos.
- b) La cantidad del fluido que se va a manejar dentro del serpentín.
- c) Eficiencia del horno

- d) El área disponible en plataforma
- e) El lugar donde se instalará

Los incisos a y b han sido explicados en capítulos anteriores, el inciso c será desarrollado de acuerdo a una secuencia de cálculo que nos llevará a determinar la eficiencia, - basados en datos que deben ser proporcionados por las necesidades de proceso, los incisos restantes, d y e, son los que a continuación describiremos en base a algunas características dadas por fabricante y otras que se han tomado del diseño de una plataforma marina de compresión de gas.

Para los hornos instalados en tierra no existe ninguna - dificultad para su dimensionamiento ya que las condiciones de instalación le permiten tomar la suficiente área para evitar problemas futuros. Sin embargo, en las instalaciones en mar, vienen aparejados muchos contratiempos como son: el - - área que se dispone para su instalación, la corrosión que sufre la estructura, el área para realizar maniobras de mantenimiento, los costos tan elevados de instalación, ya que se requiere de equipo especial, etc.

Se ha mencionado dos tipos de hornos horizontales y verticales, esto es debido a la orientación del serpentín de calentamiento en la sección de radiación.

Se les llama así porque la colocación de los tubos, tan to uno como otro es horizontal y vertical.

Ahora bien, harémos alusión a los verticales únicamente debido a que la posición del horizontal nos restaría espacio para cualquier reemplazamiento futuro de los tubos radiantes y mantenimiento.

Calentadores a Fuego Directo Verticales.

Tipo A. Cilíndrico Vertical todo radiante.

Aquí el serpentín de los tubos se coloca verticalmente a lo largo de las paredes de la cámara de combustión (b). - El quemador se realiza verticalmente partiendo del piso del quemador.

Los calentadores de este tipo representan un bajo costo, baja eficiencia de diseño (a), y requieren una mínima disponibilidad de área (b) (no tiene sección de convección) (a).  
Fig. 6.1.A.

La carga térmica que manejan son de 0.5 a 20 MMBTU/h (a)

Tipo B. Cilíndricos Verticales con Serpentín Helicoidal.

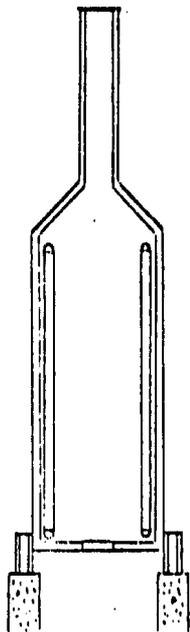


FIG. 6.1.A  
CILINDRICO VERTICAL  
TODO RADIANTE

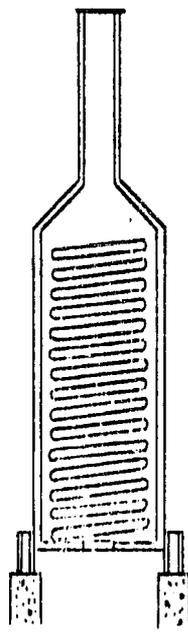


FIG. 6.1.B  
CILINDRICO VERTICAL  
CON SERPENTIN HELICOIDAL

En estas unidades, el serpentín se arregla helicoidalmente a lo largo de las paredes de la cámara de combustión (a), y el quemado es vertical a partir del piso. Este diseño también representa un bajo costo (b), una baja eficiencia (a) y requiere una disponibilidad de área mínima (b).

Una limitación de estas unidades es que generalmente el fluido de proceso sigue la trayectoria de flujo del serpentín (a). Fig. 6.1.b.

La carga térmica manejada por este tipo de horno es de 0.5 a 20 MMBTU/h. (a).

Tipo C. Cilíndrico Vertical con Serpentín Helicoidal, con sección radiante y convectiva (tipo paquete).

En estas unidades el serpentín se arregla helicoidalmente a lo largo de las paredes de la cámara de combustión, y el quemado es vertical a partir del piso, ver fig. 6.1.C.

Tiene sección de radiación y convección, el diámetro interior absorbe calor radiante, y el diámetro exterior absorbe el calor por convección.

Este tipo de calentadores a fuego directo (tipo paquete) es económico y con alta eficiencia (b).

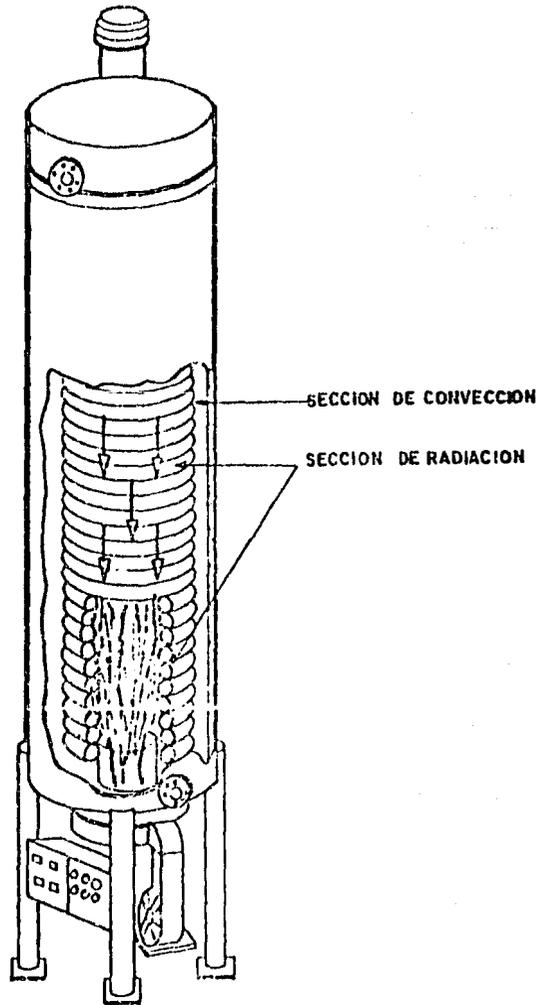


FIG. 6.1.C

CALENTADOR CILINDRICO VERTICAL, CON SERPENTIN HELICOIDAL (TIPO PACUETE)

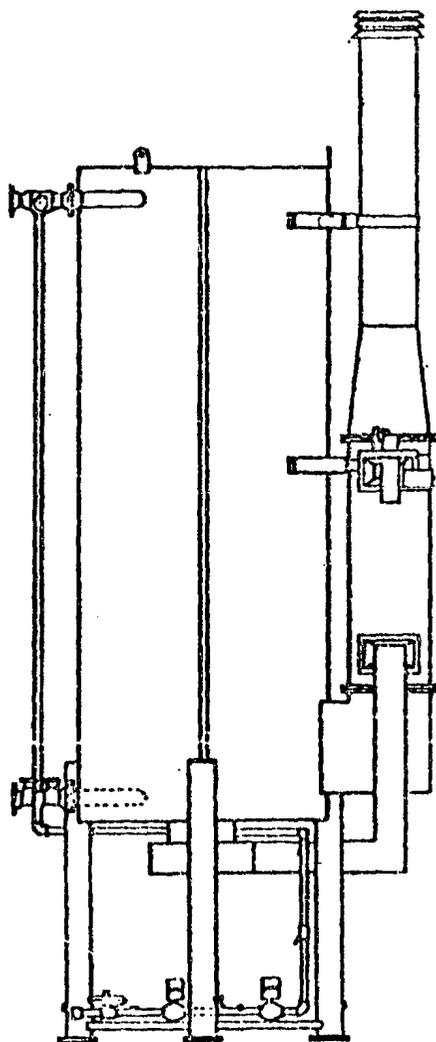


FIG. 6.1.C

VISTA LATERAL DE UN CALENTADOR  
A FUEGO DIRECTO TIPO PAQUETE

El diseño de este calentador con serpentín helicoidal hace un segundo paso de gases de combustión en el exterior del serpentín helicoidal, maximizando el uso de la superficie de calentamiento disponible, esto por lo tanto hace innecesario el uso de superficie extendida adicional.

Las cargas que se manejan en este tipo de calentadores están en el rango de 250,000 a 60.000.000 BTU/h (b).

En la actualidad, este tipo de calentador es utilizado en plataformas marinas por requerir de un área mínima, pero se dificulta su mantenimiento con lo que respecta al serpentín, debido a su configuración (a).

Tipo D. Cilíndrico Vertical con Sección de Radiación y Convección.

Estos calentadores también tienen el quemado vertical a partir del piso, disponen de ambas secciones de radiación y convección.

El serpentín de tubos de la sección radiante está dispuesto en un arreglo vertical a lo largo de las paredes de la cámara de combustión.

El serpentín de tubos de la sección de convección se -

arregla como un banco horizontal de tubos, posicionados arriba de la cámara de combustión.

Esta configuración proporciona un diseño económico, con alta eficiencia, y además requiere de una disponibilidad de área mínima. Fig. 6.1.d. (b).

El tipo de calentador da la funcionalidad del mantenimiento y de inspección interior y exterior, su peso total de 90,000 lbs. (b) en operación no afecta a la estructura donde está anclado (b).

Hoy en día, en las nuevas instalaciones mar afuera se utiliza esta categoría.

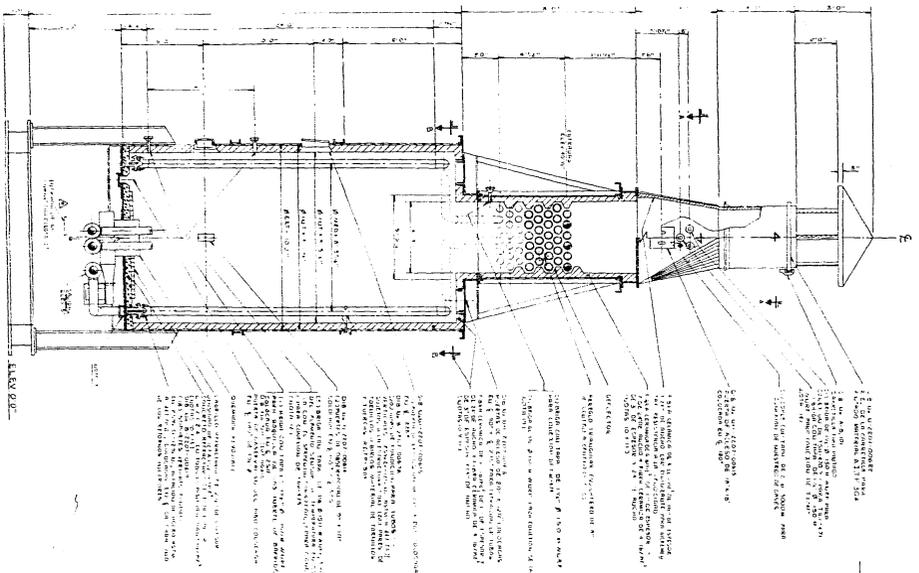
El rango de carga térmica que maneja este nuevo diseños de 10 a 200 MMBTU/hr.

Se han mencionado cuatro tipos de hornos, de los cuales, de acuerdo con el inciso seis "Selección de los Calentadores a Fuego Directo para una Plataforma Marina de Compresión de Gas" que nos describe como seleccionarlo, podemos decir que las características del caso Tipo D, son las que cumplen con lo dicho en este inciso.

(a) No cumple.

(b) Sí cumple.

ELEVATION SECTION  
A-CROSS SECTION



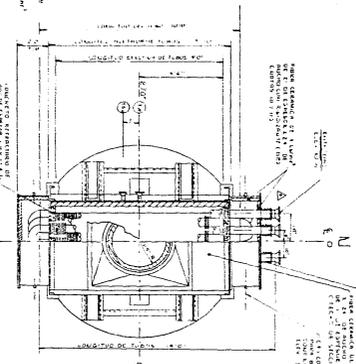
1. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD. THE WELDED COVER PLATE SHALL BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD. THE WELDED COVER PLATE SHALL BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.

2. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD. THE WELDED COVER PLATE SHALL BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.

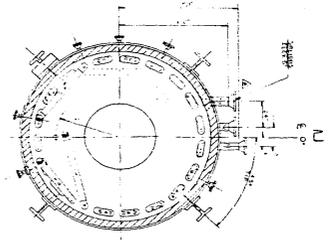
3. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD. THE WELDED COVER PLATE SHALL BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.

4. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD. THE WELDED COVER PLATE SHALL BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.

5. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD. THE WELDED COVER PLATE SHALL BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.



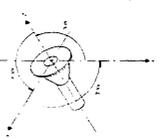
VIEW B-W



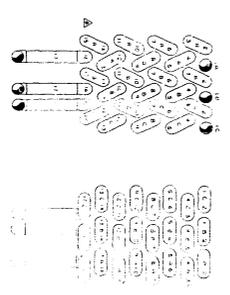
VIEW B-B

TABLE 1: MATERIALS AND DIMENSIONS

ITEM NO.	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY	REMARKS
1	WELDED COVER PLATE	SAE 1020	1	
2	SHAFT	SAE 1020	1	
3	GEAR	SAE 1020	1	
4	HOUSING	SAE 1020	1	
5	BEARING	SAE 1020	2	
6	SEAL	SAE 1020	2	
7	SCREW	SAE 1020	4	
8	WASHER	SAE 1020	4	
9	NUT	SAE 1020	4	



DETAILS



NOTES:

1. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.
2. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.
3. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.
4. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.
5. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.
6. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.
7. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.
8. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.
9. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.
10. THE WELDED COVER PLATE IS TO BE WELDED TO THE SHAFT BY THE WELDER. THE WELDER SHALL BE A LICENSED WELDER AND SHALL BE RESPONSIBLE FOR THE QUALITY OF THE WELD.

TABLE 2: DIMENSIONS AND TOLERANCES

ITEM NO.	DESCRIPTION	DIMENSION	TOLERANCE	REMARKS
1	WELDED COVER PLATE	1.00	±0.005	
2	SHAFT	1.00	±0.005	
3	GEAR	1.00	±0.005	
4	HOUSING	1.00	±0.005	
5	BEARING	1.00	±0.005	
6	SEAL	1.00	±0.005	
7	SCREW	1.00	±0.005	
8	WASHER	1.00	±0.005	
9	NUT	1.00	±0.005	

## 6.2. Eficiencia del Horno.

Como se ha mencionado en el inciso anterior, para poder determinar la eficiencia del horno harémos mención a una se cuencia de cálculo; ¿porqué una secuencia de cálculo?, esto se debe, que para poder determinar este dato en un caso concreto, se requiere de un programa de computación, ya que se concideran todas las áreas o puntos expuestos a la radiación, además se realizan una serie de interacciones que por medio de la computadora se conocen los datos más exactos y más rápidos.

Esta secuencia se puede utilizar cuando se dispone de datos que son proporcionados por el fabricante o el ingeniero encargado del proceso donde se requiere el horno.

Ahora bien, expondremos un ejemplo para facilitar el buen entendimiento de este inciso.

### DETERMINACION DEL RENDIMIENTO DEL CALENTADOR

Datos requeridos:

- a) Temperatura de la chimenea
- b) Temperatura del aire ambiente
- c) Análisis de los gases de combustión de la chimenea proporcionando porcentajes de  $CO_2$ ,  $O_2$ , y  $CO$ .

**Instrucciones:**

Del diagrama Fig. 6.2 iremos describiendo la forma en que debe usarse para que nos proporcione los datos y unidades que necesitamos para poder utilizar las fórmulas expuestas con anterioridad.

Conectar la línea (1)% CO<sub>2</sub> a la línea (7)% O<sub>2</sub> con una línea recta. La línea recta proporcionará puntos de referencia en las líneas 2, 3, 4, 5 y 6.

- Línea 1. Indica porcentaje de CO<sub>2</sub>.
- Línea 2. Indica pérdidas de calor latente como un porcentaje de calor en base al poder calorífico superior.
- Línea 3. Indica punto de rocío de los productos usando aire y combustibles secos.
- Línea 4. Indica pérdidas del gas en lb por cada 10,000 BTU en el combustible quemado.
- Línea 5. Indica la pérdida del calor sensible por la chimenea en términos de porcentaje por cada 100 °F de aumento de la temperatura de la chimenea arriba de la temperatura ambiente.
- Línea 6. Indica el porcentaje de exceso de aire.

### Planteamiento del Problema

Si el horno está quemando metano puro  $\text{CH}_4$  y las siguientes condiciones

#### Datos de Análisis del Gas

Temperatura en la Chimenea	810 °F	9.0 %	$\text{CO}_2$
Temperatura Ambiente del Aire	60 °F	5.0 %	$\text{O}_2$
Pérdidas por Radiación: se supone de acuerdo a experiencia y el rango varía desde 2 a 4 %	2 %	0.0 %	CO

Encontrar lo siguiente haciendo uso del monograma de combustión (Fig. 6.2)

Porcentaje de exceso de aire

Eficiencia Térmica (en base al poder calorífico superior)

Eficiencia Térmica (en base al poder calorífico inferior)

Solución:

#### PASOS

- ⊙ Temperatura en la chimenea  $T_{ch} = 810 \text{ °F}$
- ⊙ Temperatura ambiente  $T_a = 60 \text{ °F}$

- c) Elevación de temperatura =  $T_{ch} - T_a = 810^{\circ}F - 60^{\circ}F = \underline{750^{\circ}F}$
- d)  $\phi$  Datos de análisis de gas
- |       |                 |
|-------|-----------------|
| 9.0 % | CO <sub>2</sub> |
| 5.0 % | O <sub>2</sub>  |
| 0.0 % | CO              |
- e) Porcentaje de exceso de aire, pérdidas por la chimenea (en base al poder calorífico superior)

Usando el monograma conecte (la línea 1) 9.0 % CO<sub>2</sub> con la (línea 7) 5.0 % O<sub>2</sub>. La línea recta indicará sobre la (línea 2, 5 y 6) puntos de referencia. En la (línea 6) el punto de referencia es 28 % de exceso de aire.

- f) Calor latente: este se lee en la (línea 2) pérdidas de calor latente desde H % del calor en base al poder calorífico superior 9.1 % sobre la (línea 5) pérdidas en gases 2.36 % por cada 100 °F.

Las pérdidas del calor sensible es igual a las pérdidas en gases en % por cada 100 °F y la elevación de temperatura.

$$2.36 \times 100 \% \times 750^{\circ}F = \underline{17.7 \%}$$

La pérdida de calor total por la chimenea es igual a la suma de la pérdida de calor latente y calor sensible.

$$9.1 \% + 17.7 \% = \underline{26.8 \%}$$

g) Pérdidas por Radiación

Se supone 2 % de calor liberado en base al poder calorífico superior

: La pérdida total de calor es igual a la pérdida - por la chimenea más la pérdida por radiación

$$26.8 + 2. \% = \underline{28.8 \%}$$

h) Eficiencia Térmica con calor en base al poder calorífico superior es igual al 100 % menos la pérdida total en base al poder calorífico superior de calor.

$$100 \% - 28.8 \% = \underline{71.2 \%}$$

El calor neto o calor en base al poder calorífico superior como un porcentaje del calor liberado en base al poder calorífico superior es igual al 100 % menos la pérdida - del calor latente.

$$100 \% - 9.1 \% = \underline{90.9 \%}$$

i) Eficiencia Térmica en base al calor neto o en el poder calorífico inferior es igual a la eficiencia térmica, calor en base al poder calorífico superior dividido por el calor neto como una fracción del calor en base al poder calorífico superior

$$71.2 \% \div .909 = \underline{78.4 \%}$$

- **NOTA:** Son datos proporcionados por proveedor o el ingeniero encargado del proceso.

### 6.3 Costo Estimado.

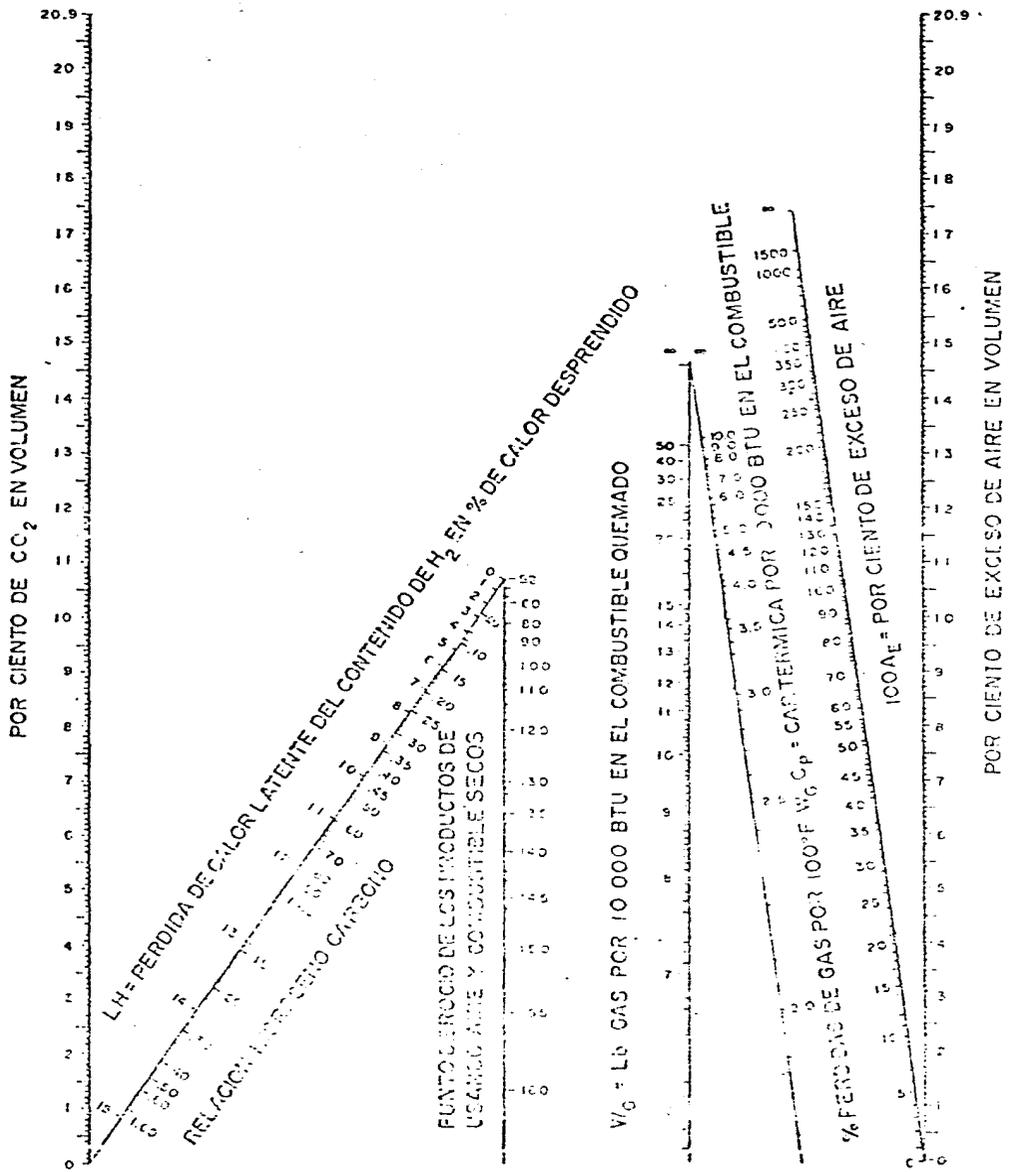
Se han planteado las necesidades de la plataforma marina de compresión, se ha dado un desarrollo de la ingeniería, y ahora harémos mención de algunos aspectos económicos que se requieren tomar en cuenta para su construcción e instalación de dicho horno.

Para poder tomar una desición de este tipo nos basaremos en 3 criterios:

- 1º Tener la capacidad requerida con la menor inversión.
- 2º Que funcione con el mínimo consumo de combustible.
- 3º Menor costo de mantenimiento para obtener el mayor tiempo en operación.

El ingeniero de diseño deberá tomar en cuenta los criterios anteriores basados en los requerimientos de la plataforma marina. Para dar un costo estimado del horno dependerá -- básicamente de los materiales de construcción y la configuración del equipo.

FIG. 6.2 MONOGRAMA DE COMBUSTION



Para lograr un diseño económico considere lo siguiente:

1. Configuración del calentador a fuego directo.
2. Optimización del diseño.
3. Materiales de construcción.
4. Costos de instalación.

1. Configuración del calentador a fuego directo.

En el caso de la configuración, existe la tendencia de - separar y decir que los hornos cilíndricos son más económicos que los hornos verticales, pero todo depende del espacio donde se instalará y la experiencia que se cuenta para poder hacer un estudio comparativo y así poder determinar cual es el más económico.

Los criterios básicos del diseño son condiciones específicas del proceso y los requerimientos de diseño definirán su configuración del calentador.

El proceso requiere que:

Se utilice como combustible el gas natural, considerando que tanto la carga térmica, como la disponibilidad del combustible en plataforma marina son las adecuadas para ser usadas por el horno.

Cuando no hay problemas con el combustible, los hornos cilíndricos u horizontales con quemadores en el piso y tubos verticales colgados, son los más económicos, reduciendo así el costo de inversión y de mantenimiento, causando así la -- eliminación de soportes en la sección radiante y disminuyendo la longitud de los tubos de la sección de convección.

Utilizando tubos de diámetro mayor existe un gran ahorro de soportes, pero debe considerarse que en el caso de aleaciones cromo-niquel\*\* se elevaría el costo considerablemente, debiendo así hacer un balance económico entre costo de tubos y costo de los soportes.

Haciendo uso de un precalentador de aire de combustión - aumentaría la eficiencia del combustible. Para justificar - su instalación deberá tomarse en cuenta que la recuperación de inversión se estima en un período de 2 años\*.

Para el uso de conexiones de tipo "U" llamados también - tipo tapón, deberá considerarse longitudes grandes para disminuir el número de ellos o utilizar retornos en "U" que no presentan un costo elevado.

En el equipo auxiliar, como son los sopladores, lo que - aumenta el costo es la cantidad de ellos y no la longitud del lanzador.

## 2. Optimización del Diseño.

Teniendo definida la configuración del horno nos dispondremos a la fabricación, en nuestros talleres o en los del - proveedor que se haya elegido debiendo tomar énfasis en los continuos y rapidos cambios en los costos de transportación- y construcción, el paso siguiente es la optimización del di- seño.

Primeramente, es el de obtener la mejor distribución de la zona radiante con el menor costo. Debe tenerse en cuenta que conforme aumenta el diámetro de los tubos aumentará el - costo pero disminuirá el número de pasos y así el costo.

## 3. Materiales de Construcción.

Las propiedades físicas y mecánicas son generalmente las mismas para cualquier diseño de horno, el uso efectivo de es- te material nos proporcionará la economía que se requiere.

Debe tomarse en cuenta el uso efectivo de los materiales y los métodos de sugestión, ya que están relacionados con la - temperatura que resisten y las propiedades del mismo, esto se debe a que existe una expansión lineal a una temperatura de - 1800 °F.

En la soportería de los tubos debe tenerse mucha atención, desde el punto de vista mantenimiento ya que el costo aumentaría considerablemente debido a que son los que más se reemplazan en los hornos; además, deberá tomarse en cuenta la facilidad para reemplazarlos en áreas críticas.

#### 4. Costo de Instalación.

El costo de instalación nos proporcionará si el diseño que nosotros elegimos fue el más económico, porque el tiempo de instalación, si no se considera adecuadamente se vendría-abajo el costo estimado.

El uso de componentes modulares mejoraría su instalación en la plataforma marina, en lugar de mandar piezas por separado, estos módulos se pueden incorporar eficientemente y -- así ponerlo en operación rápidamente.

#### 6.4 Confiabilidad y Mantenimiento Preventivo.

Hemos dado a conocer en los capítulos anteriores los aspectos más importantes que dependerán el buen diseño y la -- confiabilidad del calentador a fuego directo.

Para efecto de un mantenimiento preventivo deberá efec-- tuarse una inspección en el interior del horno, como mínimo --

cada dos años y como máximo tres. Esto se debe a que estas partes que a continuación vamos a mencionar, requieren de un mayor cuidado, ya que de ellos dependen la máxima funcionalidad.

1. Serpentín, Retornos y Soportes.
2. Quemador.

Tanto el serpentín, los retornos, y los soportes, con el tiempo tienen problemas como es el caso del serpentín que con frecuencia sufre de coquización en la tubería; en los retornos por efecto de un incremento de velocidad en el fluido existen serios problemas de corrosión, y en los soportes por un aumento de vibraciones llegan a tener fracturas en la parte sujetadora.

Con lo que respecta al quemador, debe efectuarse una limpieza para evitar una fuerte corrosión que provoque un amento de flama en la salida de la boquilla.

Cabe hacer mención que existen otros componentes del horno que requieren de una inspección, como son: instrumentación, refractario, el soplador, etc., pero estas se verifican puesto el horno en operación y continuamente.

Al efectuar un mantenimiento preventivo, debemos tomar -

en cuenta el tiempo que nos llevará realizar dicha revisión, para efecto de este problema, debemos contar con las partes de repuesto necesarias para sustituirlas en el momento adecuado y con un horno de relevo que nos ayudará para no frenar la producción y evitar pérdidas en la economía del país.

Partes de Repuesto Recomendadas para los Calentadores  
a Fuego Directo

1. 30% de los tubos de aleación, desnudos.
2. 25% de los tubos de área extendida.
3. 10% de los retornos de 180° tipo tapón.
4. 10% de los retornos de 180° en "U".
5. 2% de soportes de tubos en la sección de radiación.
6. 10% de interconexiones.
7. 15% de los quemadores.
8. 15% de los sopladores de hollín.
9. 30% de las boquillas de los quemadores.
10. 10% de pilotos.
11. 10% de anclas para sugestión del refractario.
12. 2% de los tubos de acero al carbón, desnudos.
13. 20% de los cañones de los quemadores.
14. 3% de la mezcla del concreto refractario.
15. 10% de ladrillos refractarios.
16. 20% de la cerámica de los quemadores.

## 7. CONCLUSIONES

Hoy en día, en donde nuestro país requiere de alternativas y desarrollo de tecnología propia, hemos elaborado una secuencia que nos permita tomar decisiones en el campo de los calentadores a fuego directo, instalados en una plataforma marina.

La economía de nuestro país, reside en el aprovechamiento de nuestros recursos naturales, en este caso es el petróleo y el gas natural; dependiendo del mejor uso de nuestra tecnología podremos obtener los mejores beneficios de nuestras riquezas naturales; es por eso que decidimos ampliar un poco más el conocimiento de estos equipos y aplicarlo a uno de los tantos procesos donde se requiere alimentar a una corriente cierta cantidad de poder calorífico.

Todos los procesos a los cuales es necesario instalarles un horno, tienen el mismo principio de operación, lo que los hace diferir es el uso y el proceso al que se le va a aplicar. Como hemos mencionado en nuestro trabajo, son algunos de los aspectos claves, que nos permitirán tomar la decisión o alternativa adecuada.

En el caso de este tipo de calentador, que se necesita instalar en una plataforma marina de compresión de gas, es -

con el objeto de poder aprovechar todo el gas que contienen nuestros yacimientos y debemos pensar en muchas cuestiones que afectan a lo ya construído e instalado, inclusive en el sitio que debe colocarse para efectos de construcción y economía.

El gas proveniente de nuestros pozos que viene asociado con crudo y es de una calidad excepcional, debido a que contiene una gran cantidad de licuables, por tal razón se justifica un diseño que nos permita su recolección, acondicionamiento y transporte, para así aprovecharlo como un valioso energético, tanto en las mismas instalaciones como en tierra.

El objetivo inicial de este trabajo, fue el de proporcionar los elementos básicos más importantes para la creación de un diseño de los calentadores a fuego directo, en base a las características que se presentan en este tipo de plataformas marinas y la sobre producción de este recurso.

En conclusión, que para la realización de un diseño como este se deben tomar los conceptos más importantes de los calentadores a fuego directo o llamados también hornos de proceso, y son los siguientes:

- Definida su localización.

- Definidos su servicio, clasificación y partes principales.
- Requisito de confiabilidad y operación, tanto en condiciones de corrosión como de protección y seguridad.
- Requerimiento y autosuficiencia del horno en servicio.
- Definidas las condiciones y procedimientos de instalación en plataforma.
- Minimización del espacio, peso y costo del horno.
- Definidas las condiciones especiales de su equipo y partes de repuesto.

Tales conceptos son el resultado del análisis de los criterios de diseño que presentan a lo largo de este trabajo, -- que son representativos de la ingeniería aplicable a los proyectos del área marina y que constituye las diferencias al -- respecto a los diseños aplicados en tierra.

\* Referencia.

Transferencia de Calor

Ing. José Raúl Rodríguez

Instituto Mexicano del Petróleo.

\*\* Transferencia de Calor. Tomo V.

Ing. Alejandro Solórzano Salinas

Instituto Mexicano del Petróleo

**BIBLIOGRAFIA**

- **Transferencia de Calor**  
Ing. José Rueda Rodríguez  
Instituto Mexicano del Petróleo.
  
- **Manual de Proceso y Operación**  
**Plataforma de Compresión de Gas Abkatún "A" PC-1**  
Vol. I y II  
Instituto Mexicano del Petróleo
  
- **Principios de Transferencia de Calor**  
Frank Kreith  
Ed. Herrera Hnos. Sucesores, S. A.
  
- **Transferencia de Calor**  
Donald Q. Kern  
Ed. Continental, S.A.
  
- **Petróleo Internacional**  
Núm. 9, 1983. Revista  
Núm. 2, 1984.
  
- **Tesis**  
Diseño de una Plataforma de Compresión en la Sonda de Campeche.  
Instituto Politécnico Nacional  
Sergio D. Renovato Carrión
  
- **Marco Normativo Para el Desarrollo de Instalaciones de Explotación en el Golfo de Campeche.**  
Petróleos Mexicanos.