

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



ESPECIFICACIONES GENERALES DE UN
CALENTADOR A FUEGO DIRECTO

BERNARDO RODRIGUEZ Y PEÑA

310

INGENIERO QUIMICO

1 9 7 5



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 esta 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.

CLAS. Tesis
ADQ. 1975
FECHA
PROC. 117-298



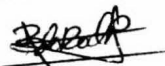
QUIMICA

PRESIDENTE: Ernesto Ríos Montero
V O C A L: Alejandro Anaya Durand
SECRETARIO: Antonio Frías Mendoza
1er.SUPLENTE: Jaime Noriega Bernechea
2do.SUPLENTE: Antonio Valiente Barderas

Sitio donde se dearrollo el tema:

Intituto Mexicano del
Petróleo

Nombre completo y firma del sustentante:


Bernardo Rodríguez y Peña

Nombre completo y firma del asesor del tema:


Antonio Frías Mendoza

A mi esposa Carmen

y a mi hija Leonor

Con todo el amor que les profeso.

A mis padres

Sr. Bernardo Rodríguez Dávila

Sra. Guillermina Peña de Rodríguez

A mis hermanos, en especial a

Mariana por su amable esfuerzo

A los Señores Ingenieros

Antonio Frías Mendoza y

Ma. Elena Chewtat y Pérez

en agradecimiento por la ayuda y orientación
que me brindaron para la elaboración de este
trabajo.

I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION	11
CAPITULO I	
HORNOS	33
Descripción	33
Clasificación	33
Generalidades	88
Definición de Términos	100
CAPITULO II	
CALENTAMIENTO DIRECTO	113
II.1 Funcionamiento	113
II.2 Tipos de Calentadores	114
II.3 Ventajas y Desventajas entre los diversos calentadores.	116
CAPITULO III	
ELABORACION DE HOJAS DE DATOS	223
III.1 Descripción del Procedimiento	224
III.2 Depto. de Diseño de Proceso	224
III.3 Depto. de Transferencia de Calor	226
CAPITULO IV	
REQUERIMIENTOS BASICOS DE UN CALENTADOR	229
IV.1 Datos de Proceso	330
IV.2 Datos de Diseño Mecánico	334
CAPITULO V	
CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES	448
V.1 Recomendaciones Generales para la Selección de Materiales.	555
V.2 Costos	663
CAPITULO VI	
HOJA DE DATOS	666
CONCLUSIONES	771
BIBLIOGRAFIA	772

I N T R O D U C C I O N

La introducción y uso de los calentadores a fuego directo como aplicación comercial de la transmisión de calor, fue exigida por razones de tipo económico y por su mejor operación mecánica. Ya que en la mayor parte de los procesos de calentamiento de instalaciones antiguas, se utilizaban calentadores de vapor, el cual era suministrado mediante calderas. Hoy en día resultan evidentes las grandes economías que reporta el método directo de calentar el petróleo. Entre las ventajas inmediatas, se encuentra la de obtener elevadas temperaturas sin la necesidad de un costoso sistema de vapor a alta presión, a lo que se añade el hacer innecesarios procesos tan caros como el calentamiento y tratamiento de aguas y la recuperación de condensados. ^{aldana} ~~Súmese~~ ^{ay que agregarle} a esto el ahorro que representa el hecho de que la eficiencia del calentamiento directo es muy superior a la de un sistema indirecto a base de vapor.

El siguiente trabajo se realizó con el objeto de proporcionar una ayuda al ingeniero de producción a quien se encargue la selección de un calentador a fuego directo, en la especificación correcta de las condiciones técnicas del mismo.

En capítulos posteriores se hace una breve mención de los varios tipos de calentadores y se consideran algunos detalles sobre la transmisión de calor, el diseño mecánico y las reglas generales de operación de este tipo de calentadores.

También se hace mención de un procedimiento para elaboración de hojas de datos de hornos, como un ejemplo a seguir en las compañías de ingeniería. Finalmente, con el objeto de un mejor conocimiento de los hornos, se hacen algunas consideraciones sobre la estructura del mismo.

C A P I T U L O I

H O R N O S

DESCRIPCION

La palabra horno describe un tipo de caja metálica, usualmente forrada de refractario, en la cual una cierta cantidad de calor es cedida por un combustible y transferida directa o indirectamente a una masa sólida o fluida.

El propósito del calentamiento es efectuar un cambio químico o físico en el material que esta siendo procesado.

Los hornos que se usan en refinerías, se conocen más comúnmente como: - "Calentadores a Fuego Directo", "Calentadores" o "Generadores de Gas".

CLASIFICACION

Existen varias formas de clasificar a los hornos, la más sencilla y quizás la más apropiada es aquella que hace la distinción entre el tipo de material manejado; ésto es, entre los que manejan sólidos y los que manejan fluidos.

En general los fluidos necesitan ser manejados en hornos cuando las temperaturas que se necesitan estan arriba de las que se pueden lograr con vapor, o sea a temperaturas alrededor de los 450° F. Los sólidos generalmente necesitan hornos cuando sus temperaturas deben ser elevadas más allá de los 1000° F.

Los hornos que procesan flúidos, a su vez se clasifican en:

CALENTADORES { a) A FUEGO DIRECTO
b) A FUEGO INDIRECTO

y además se les clasifica como:

HORNOS { c) DE CALENTAMIENTO DIRECTO (CALENTADORES
CONVENCIONALES DE UNA REFINERÍA).
d) DE CALENTAMIENTO INDIRECTO

a) Calentador a Fuego Directo.

Hornos en los cuales los productos de la combustión se ponen en contacto directo y si es posible en "íntimo contacto", con los materiales que se van a calentar.

b) Calentador a Fuego Indirecto.

Frecuentemente se les emplea en forma de muflas para el tratamiento de metales, tienen poca aplicación en la Industria Química.

c) Hornos de Calentamiento Directo.

Estos calentadores toman el flúido a procesar y lo llevan a través de los tubos del horno, los cuales son calentados por una combinación de radiación y convección.

d) Hornos de Calentamiento Indirecto.

Ceden calor exáctamente de la misma forma que los anteriores, pero con la diferencia de que lo transmiten a un medio calentador, que a su vez circula a través de varios equipos independientes, los cuales son calentados en forma análoga a un sistema de rehervidores.

En general los calentadores a fuego directo se clasifican según la disposición de sus tubos. Los dos tipos más comúnmente utilizados son: -
(1) calentadores cuyos tubos se hayan todos en la sección de calor radiante; (2) calentadores con parte de los tubos en la sección de radiación y parte en la de convección.

Los calentadores que utilizan exclusivamente el calor de radiación, carecen de tubos de convección y tienen por consiguiente, baja eficiencia térmica. Los tubos pueden disponerse a lo largo de las paredes, vertical u horizontalmente, en forma de serpentin, o pueden suspenderse en posición vertical u horizontal en varios lugares de la cámara de radiación. Se les llama calentadores radiantes debido a que la energía procedente de la combustión del petróleo es transmitida a los tubos por radiación, aunque sus diseñadores no ignoran que una buena cantidad de calor se transmite por convección de los gases de combustión que circulan alrededor de los tubos.

En los calentadores del tipo radiación-convección, la superficie de los tubos se distribuye entre ambas secciones para asegurar una buena proporción de calor radiante y al mismo tiempo, obtener la mayor eficiencia térmica posible por medio del diseño apropiado de la superficie de convección. Además de la sección de radiación previamente mencionada, este tipo de calentador consta de un banco de convección, consistente en cierto número de tubos convenientemente espaciados y emplazados a -

través del flujo de los gases de combustión procedentes de la sección radiante.

Muchos factores son los que hay que considerar ante la selección entre un calentador de radiación, o uno de radiación-convección; pero creo que el más sencillo y fácil de entender es el que se refiere al costo anual del combustible. Como un ejemplo me referiré a la Figura 1, ilustrativa de un caso típico, podemos en ella comparar una unidad radiante, funcionando a una eficiencia máxima del 55%, con una de radiación-convección, cuya eficiencia alcanza el 80%. Basándonos en un costo de combustible de 0.30 dólares por millón de BTUs, vemos que el calentador más eficiente, no solo pagaría el incremento del costo inicial, sino que en corto plazo amortizaría la totalidad de la instalación solamente con el ahorro de combustible.

Con este ejemplo se pone de manifiesto cuán equivocada es la actitud de los ingenieros que negligentemente afirman que un calentador no es más que un calentador y aunque es cierto que la mayor parte de las aplicaciones de los calentadores en producción, es de relativa importancia, no lo es menos que la misma naturaleza de los petróleos crudos y sus contaminantes, ya que la selección de un equipo de calentamiento de diseño deficiente resultará en un sobrecalentamiento, el cual es acompañado de descomposición, formación de coque, operación deficiente y excesivos costos de combustible.

T I P O D E C A L E N T A D O R

	RADIANTE	RADIACION-CONVECCION
EFICIENCIA %	55	80
ABSORCION DE CALOR BTU/HR	30 000 000	30 000 000
CALOR LIBERADO NETO	54 500 000	37 500 000
COSTO ANUAL DEL COMBUSTIBLE EN BASE AL COSTO DEL MISMO DE 0.30 DE DOLAR POR MILLON DE BTU _s .	\$143,000.00	\$ 99,000.00
AHORRO NETO ANUAL 80 VS. 55 % EFF.	<hr style="width: 100px; margin: 0 auto;"/>	<u>\$ 44,000.00</u>

FIGURA 1. COSTO ANUAL DE COMBUSTIBLE

GENERALIDADES

En los calentadores tubulares que se usan en las refinerías, el fluido es calentado cuando pasa a través de uno o más serpentines continuos - hechos de tubos rectos de longitud pequeña, conectados por codos de retorno de 180°.

El patrón de flujo normal es a contracorriente con los gases de combustión, primero a través de la sección de convección (precalentamiento) y finalmente a través de la zona de radiación dentro de la caja de fuego (hogar), lo que produce una elevación de la temperatura del fluido hasta la requerida por el proceso.

La distribución de la carga térmica entre la sección de convección y la de radiación es más o menos empírica y por lo tanto varía con el fabricante.

Los tubos del serpentín dentro de la zona de radiación, pueden ser verticales u horizontales, cualquiera que sea su orientación, deberán estar sostenidos de tal forma que permitan la expansión térmica, por eso, con el fin de lograr esto, cada fabricante tiene sus propios arreglos.

Los serpentines en la zona de convección en la mayoría de los sistemas son horizontales y hechos de tubos aletados para mejorar la transferencia de calor.

Desde el punto de vista del mantenimiento, el mayor problema que se presenta en cualquier horno es el refractario.

El objetivo principal de su instalación es mantener y transmitir el calor dentro de la caja de fuego, los refractarios pueden aguantar una considerable cantidad de abuso físico y químico, debido a las reacciones químicas y a la alta temperatura del horno, pero como ningún material, ya sea sintético o natural, puede reunir todos los requisitos necesarios, se elige aquél que llene o que cumpla mejor con todos los requerimientos.

DEFINICION DE TERMINOS

Para obtener una mejor comprensión de los términos empleados en los calentadores a fuego directo, es conveniente puntualizar en la definición de los mismos.

- a) Hoja de Datos: Es la hoja que contiene la información de operación y de diseño de un calentador a fuego directo.
- b) Temperatura de Operación: Es la temperatura a que normalmente trabaja un calentador.
- c) Temperatura de Diseño: Es la temperatura que sirve, junto con el tipo de material, para determinar el esfuerzo de trabajo del material.
- d) Presión de Operación: Es la presión a que normalmente trabaja un calentador.
- e) Presión Máxima Permisible de Operación: Es la máxima presión a que se puede trabajar un calentador dentro de los límites de seguridad.
- f) Presión de Diseño: Es la presión que se emplea en el cálculo de los espesores de pared de los diferentes componentes del calentador.
- g) Carga Térmica: Es la cantidad de calor que puede absorber el fluido de proceso a su paso por el calentador.
- h) Poder Calorífico Inferior: Es la mínima cantidad de calor que puede liberar un combustible al quemarse.
- i) Serpentín: Es el conjunto de tubos que integran las diferentes - -

secciones de un calentador; v.gr. radiación, convección, radiación-convección, sobrecalentamiento, recalentamiento, etc.

- j) Decoquizado: Es el proceso que hace posible la eliminación del carbón adherido a las paredes internas de los tubos y cabezales de los calentadores.
- k) Cabezal: Es la tubería que sirve para distribuir o coleccionar el fluido a/o de los tubos.
- l) Soportes: Son los dispositivos que sirven para fijar los tubos dentro del calentador.
- m) Válvulas de Bloqueo: Son las válvulas que sirven para permitir o interrumpir el paso de un fluido a través de una tubería.
- n) Paso: Es el número de tubos que sirve para lograr un determinado calentamiento del fluido que corresponde a las condiciones del proceso.
- o) Quemador: Es el dispositivo que sirve para suministrar combustible al hogar de un calentador para quemarlo y mantener la liberación de calor que se requiera.
- p) Liberación de Calor: Es la capacidad térmica de cada quemador basada en las características del combustible empleado.
- q) Chimenea: Es el dispositivo que sirve para extraer los gases de combustión del hogar.
- r) Hogar: Es la parte del calentador donde se efectúa la combustión.

- s) Sección de Radiación o Radiante: Es el conjunto de tubos que recibe directamente el calentamiento.
- t) Sección de Convección: Es el conjunto de tubos que recibe el calentamiento por el paso de los gases de combustión.
- u) Sección de Radiación-Convección: Es la parte del calentador que se calienta tanto por radiación como por convección.
- v) Sección de Sobrecalentamiento: Es la parte del calentador donde se logra la elevación de temperatura, arriba de la de saturación, del fluido manejado.
- w) Eficiencia: Es la relación en por ciento que nos indica el rendimiento.
- x) Operación Normal: Es el funcionamiento del equipo dentro de las variaciones previstas a las condiciones de operación, capacidad y eficiencia especificadas en la hoja de datos y documentos posteriores y garantizado por el fabricante, sin requerir ningún mantenimiento mayor, reparación o reposición de partes excepto el mantenimiento propio de dicho funcionamiento.

C A P I T U L O II

CALENTAMIENTO DIRECTO

Prácticamente todo el equipo usado actualmente en las plantas de refinación, petroquímica y química para el calentamiento de los fluidos a altas temperaturas, son arreglos de secciones tubulares contenidos en un recipiente forrado con refractario.

Las secciones tubulares contienen el fluido a procesar y por el exterior de los tubos, dentro del recipiente, se encuentran los quemadores necesarios para la combustión.

II.1. FUNCIONAMIENTO

Al adicionar calor al fluido procesado, los hornos realizan dos funciones básicas:

- a) Aumentar la temperatura y por lo tanto el contenido de calor del fluido sin producir ningún cambio de estado o cambio químico.

Ejemplos de esta primera función: el calentamiento de asfalto que permite su descarga a los carros tanque o pipas y el calentamiento de líquidos pesados para reducir su viscosidad, con objeto de disminuir entre otros, los costos de bombeo.

- b) Aumentar la temperatura y el contenido de calor de tal for

ma, que el material que se encuentra sometido al calentamiento sufra cambios tanto físicos como químicos en sus propiedades.

La segunda función involucra la vaporización de material para la destilación, la pirólisis de los hidrocarburos y sustancias orgánicas, el reformado de hidrocarburos y la reformación catalítica de corrientes vapor-hidrocarburos.

II.2. TIPOS DE CALENTADORES

Se puede considerar que existen dos grandes categorías:

HORNOS {
 VERTICALES-CILINDRICOS
 HORIZONTALES-RECTANGULARES

Hornos Verticales-Cilíndricos.

En estos calentadores la sección radiante contiene serpentines verticales o helicoidales; la sección de convección tiene serpentines verticales u horizontales, usualmente aletados.

Hornos Horizontales-Rectangulares.

En este tipo de calentadores, la sección radiante tiene tubos horizontales y la sección de convección contiene tubos horizontales aletados.

Cualquiera de los dos tipos contiene una sección de radiación en la cual los tubos que transportan el fluido procesado, absorben calor a través de la pared del tubo, predominantemente por

radiación. Pero dependiendo del proceso o la economía total de la operación, tendrán o no, una zona de convección. Sin embargo en algunas aplicaciones del horno vertical-cilíndrico, cuando se requiere una unidad pequeña, la carga térmica no es grande y la economía del combustible no es importante y por lo tanto el horno puede o no tener zona de convección.

Los tubos en la sección de convección pueden precalentar el fluido que posteriormente entrará a la zona de radiación, o pueden precalentar un fluido que se usará en otra operación, generar vapor de proceso, o en algunos casos servir para precalentar ya sea aire de combustión o agua de alimentación al hervidor.

A continuación se presentan varios tipos de hornos verticales cilíndricos y horizontales-rectangulares.

Los nombres no están estandarizados, pero pueden ser llamados como hornos de:

- a Tipo caja grande
- b Convección separada (Lumms)
- c Convección baja
- d Erguido (Born)
- e Marco tipo "A" (Kellogg)
- f Circular (De Florez)
- g Isoflow grande (Petro/Chem)

- h Isoflow pequeño (Petro/Chem)
- i Equiflux (UOP)
- j De fuego dobel (UOP)
- k Paredes radiantes (Selas)

11.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE LOS DIVERSOS CALENTADORES

Todos los calentadores anteriores son útiles para varios servicios, existen ciertas condiciones para las cuales son más apropiados.

1. Impacto del Fuego.

Una flama demasiado grande puede impactar o sobrecalentar ciertos tubos, pero aquellos que son más vulnerables son los que están justamente abajo del llamado tornallamas (Bridge Wall) - por ejemplo en los hornos tipo (c), en los tubos bajos de (j) o de (d). Este efecto desaparece en los calentadores (j) y (d) cuando la capacidad es grande, pues los hornos son más anchos.

2. Tubos Calientes.

La velocidad de absorción de calor tiende a ser bastante alta a la entrada de la sección de convección, debido a que el calor es cedido tanto por radiación como por convección (nótese los tubos sombreados de los hornos (a), (c), (d), (e) y (j)). Algunas veces la alimentación es introducida a través de estos tubos, debido a que ésta viene más fría, también el vapor puede

ser sobrecalentado, o el agua calentada en esta región comúnmente llamada banco de tubos de pantalla (Screen Bank).

Además, los tubos cerca de la flama reciben la mayor cantidad de calor (por ejemplo los tubos de los calentadores (d), (f), (g), (h) y (j)).

3. Quemado de Combustible Derivado del Petróleo.

Los combustibles de petróleo producen flamas mayores para usarse especialmente en hornos de grandes dimensiones. En los hornos (a), (b), (c) y (e) es más recomendable el uso de este combustible, aunque en el resto no existe dificultad cuando son de gran tamaño.

4. Distribución de Calor.

Además de la mala distribución que fue descrita en el punto 2 existe un rango de variaciones de la velocidad de calentamiento dentro de las diferentes cavidades de los hornos como en los tipos (a) y (c), en los otros se puede lograr una distribución bastante uniforme de calor.

5. Calentamiento Simultáneo de dos Serpentes.

El horno (c) no es recomendable para el calentamiento de dos corrientes, aunque experimentalmente es posible hacerlo. El diseño para un arreglo de dos serpentines puede realizarse para la mayoría de los demás hornos, pero cuando requieren diferentes

velocidades de absorción de calor en cada serpentín, los hornos con un tornallama central son más efectivos.

6. Control de las Velocidades.

Los hornos (i) y (k) son los más recomendables para ejercer un control preciso sobre la velocidad de entrada de calor y en operaciones con temperaturas demasiado altas (entre los 1000 a - - 1500°F). En los hornos circulares del tipo (f), (g) y (h) pueden lograrse velocidades considerablemente bajas de absorción de calor y en otros hornos si se suministra suficiente superficie radiante.

7. Capacidad.

Para bajas capacidades son más recomendables los hornos (c), -- (d), (h), (i) y (k), así como para grandes, los hornos tipo (a), (b), (e) y (j).

8. La Chimenea.

Los hornos (a), (b), (c) e (i) requieren chimeneas altas, los -- restantes casi no la necesitan, a excepción de aquellos casos - en los cuales se necesita liberar los gases de combustión a altos niveles.

9. Costo.

La construcción del piso en los hornos tipo (a), (b) y (c) es - cara. Aquellos muros que no están tapizados por tubos como en

los tipos (a), (b), (c) y (e) tienden a sobrecalentarse y por lo tanto deben ser de una construcción más sólida.

La gran estructura del horno (i) es cara y los números quemadores de (k) aumentan a su vez los costos. El horno de marco "A" (c), está soportado en acero estructural.

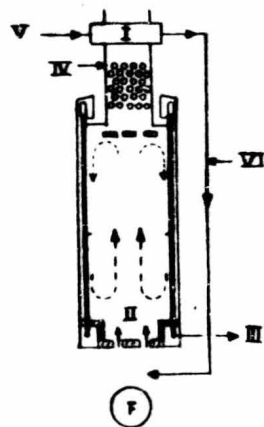
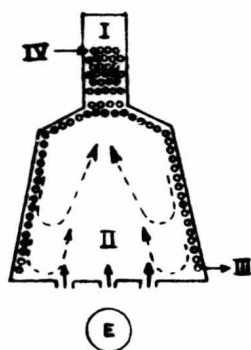
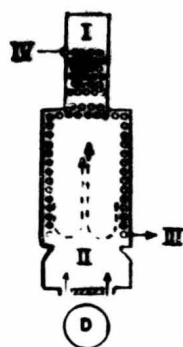
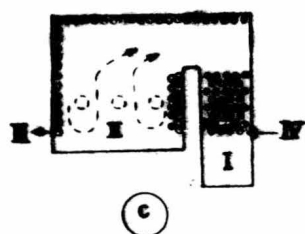
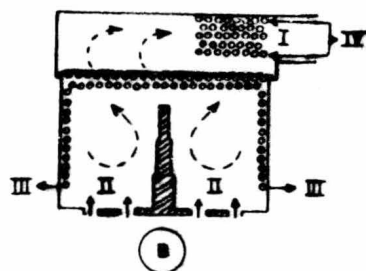
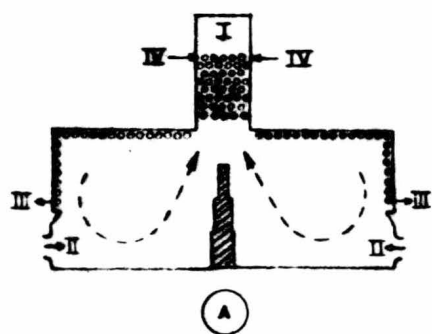
En los hornos de "Isoflow" (g) y (h) se usan tubos aletados en la zona de convección. Esto reduce considerablemente la cantidad de tubos requeridos y da por resultado velocidades de transferencia de calor en la zona de convección considerablemente grandes, que a veces sobrepasan a las de la zona de radiación.

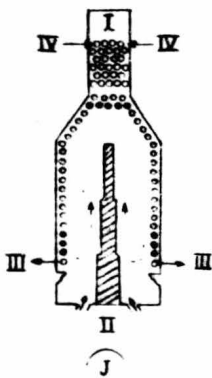
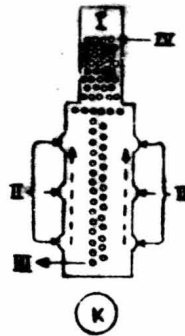
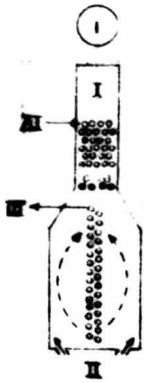
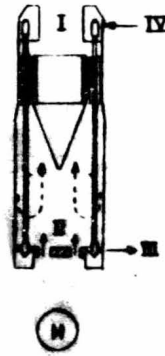
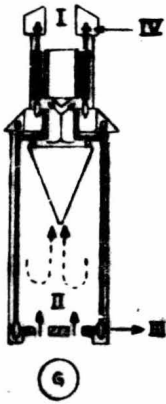
En los tipos (h) las terminales superiores de los tubos son aletadas y por lo tanto no existe distinción entre la zona de convección y la de radiación. Los hornos (k) emplean copas de cerámica en los quemadores, los cuales tienen un espaciamiento de unas 30 pulgadas y cubren ambas paredes.

El espacio óptimo entre las paredes y los tubos es alrededor de un diámetro de tubo.

El horno ideal es uno en el cual la velocidad de absorción de calor es la máxima en todos los puntos, que pueda transferirse sin causar decoloración, descomposición o formación de coque.

Un factor limitante en el diseño de todos los hornos es la tendencia del petróleo a coquizarse o descomponerse en las paredes del tubo calentado, lo cual limita la velocidad de absorción de calor radiante de 6000 a 20000 BTU por hora Ft² de área exterior, dependiendo de la operación, porque si se deposita coque en la pared del tubo la temperatura se eleva y ésto causa un reblandecimiento del tubo y una falla térmica.





- I CHIMENEA
- II QUENADORES
- III SALIDA
- IV ENTRADA
- V AIRE
- VI AIRE PRECALENTADO

Figura II.1. - HORNOS VERTICALES- CILINDRICOS Y HORNOS HORIZONTALES- RECTANGULARES.

C A P I T U L O I I I

ELABORACION DE HOJAS DE DATOS

Existen un gran número de variables involucradas en el diseño de un horno, por eso debe establecerse la información más detallada posible, concerniente a la operación en particular.

Esta información es esencial para un diseño más confiable y a la vez más económico, aunque en algunas ocasiones resulta difícil la selección del mínimo de requerimientos necesarios para la especificación de los calentadores, ya que se requiere de un conocimiento y cierta experiencia en problemas de transferencia de calor, flujo de fluidos, combustión y estructurales.

Un ejemplo del procedimiento empleado por las compañías de Ingeniería para elaborar las hojas de datos de los calentadores, puede ser el siguiente:

DEFINICION

El procedimiento en sí, viene siendo una recopilación y vaciado de la información necesaria para el dimensionamiento final del horno.

Una hoja de datos, es una presentación ordenada de "valores" que son utilizados en el diseño de un equipo.

OBJETIVO

El objetivo fundamental que persigue todo procedimiento, es el estableci

miento en la forma más precisa posible de la secuencia y responsabilidades del personal involucrado en la elaboración de las hojas de datos.

INFORMACION

- a) Bases de diseño.
- b) $\frac{1}{2}$ Criterios generales de diseño.
- c) Esquemas de proceso.

PARTICIPANTES

- a) Departamento de Diseño de Proceso.
- b) Departamento de Transferencia de Calor.
- c) Coordinación de Proyectos.

III.1. DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO

Para iniciar la elaboración de las hojas de datos, el jefe del proyecto deberá proporcionar al Depto. de Diseño de Proceso - las bases de diseño del contrato en cuestión, en este Departamento se procederá a establecer los criterios generales de diseño y los esquemas de proceso.

III.2. DEPARTAMENTO DE DISEÑO DE PROCESO

Tomando como base los documentos antes mencionados, dicho - - Depto. efectuará las siguientes actividades:

- a) Balances de Materia y Energía.

Los requerimientos básicos para cualquier calentador se desarrollarán después de que se realicen dichos balances y

se emplean para poder determinar las dimensiones de todos los elementos que se tienen en la planta, incluyéndose - - ciertos márgenes deseados e indeseados de seguridad, particularmente en las torres fraccionadoras.

b) Análisis de las Bases de Diseño.

Es el estudio de las bases de diseño del proyecto, las cuales contienen la información requerida para iniciar la ingeniería de la planta.

Asimismo, esta actividad consistirá en solicitar la información requerida para la especificación y diseño del equipo de transferencia de calor de la planta.

c) Comentarios a los Criterios de Diseño.

Esta actividad consiste en analizar los criterios de diseño de los principales equipos de proceso.

Como información necesaria se requiere del diagrama preliminar de flujo de proceso, bases de diseño y criterios de diseño.

d) Comentarios a los Esquemas de Procesamiento.

Es el estudio de todos estos esquemas de proceso que son la base de la selección de la alternativa más cercana a la óptima para obtener el diagrama de flujo de proceso.

e) Análisis de Esquemas de Transferencia de Calor.

Consiste en estudiar los diversos arreglos posibles del -
equipo de transferencia de calor involucrado en la planta
y seleccionar el más cercano al óptimo.

Tomando como base estas actividades el Departamento de Proceso
elabora una hoja de datos la cual abarca las siguientes especi-
ficaciones:

- (1) Características generales de flujo.
 - (2) Condiciones de entrada.
 - (3) Condiciones de salida.
 - (4) Condiciones de diseño.
 - (5) Datos sobre el combustible
- Etc.

III.3. DEPARTAMENTO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Los datos obtenidos se envían al Depto. de Transferencia de Ca-
lor.

Esta información deberá ser revisada para cerciorarse de que -
los datos propuestos correspondan al equipo que se desea. La
revisión se hará por el personal de la sección de calentadores
a fuego directo.

Esta revisión consistirá de un prediseño en el que se determi-
ne cuales son las características más importantes del equipo,
tales como:

- (1) Dimensiones posibles.
- (2) Número de pasos.
- (3) Número y diámetro de tubos.
- (4) Caída de presión.
- (5) Códigos de diseño.
- (6) Materiales.
- (7) Refractarios y aislantes.

Etc.

En el caso de que la caída de presión resulte mayor que la permisible, después de analizar varias alternativas, se deberá notificar al Depto. de Diseño de Proceso para que se hagan las modificaciones necesarias que permitan tener un equipo realmente eficiente.

Una vez que se corrigen los datos de proceso, se procede a elaborar en la sección de hornos, las hojas de datos para diseño térmico, mecánico y estructural.

Estos documentos antes de ser emitidos para cotización, deben ser aprobados por el jefe del Depto. de Transferencia de Calor. Cuando son autorizados se envían junto con los requisitos específicos y la requisición a la división de compras para la continuación de trámites referentes a la adquisición del equipo. Después se efectúa la tabulación de las cotizaciones presentadas y se selecciona al fabricante del horno.

FUENTES DE INFORMACION. Y PARTICIPANTES.

ACTIVIDADES.

ESPECIFICACIONES.

BASES DE DISEÑO

CRITERIOS GRALES. DE DISEÑO PRELIMINAR

ESQUEMAS DE PROCESO

DEPTO. DE DISEÑO DE PROCESO.

ANALISIS DE LAS BASES DE DISEÑO

COMENTARIOS A LOS CRITERIOS DE DISEÑO

ESQUEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

COMENTARIOS A LOS ESQUEMAS DE PROCESAMIENTO

ANALISIS DE LOS ESQUEMAS DE TRANSFERENCIA.

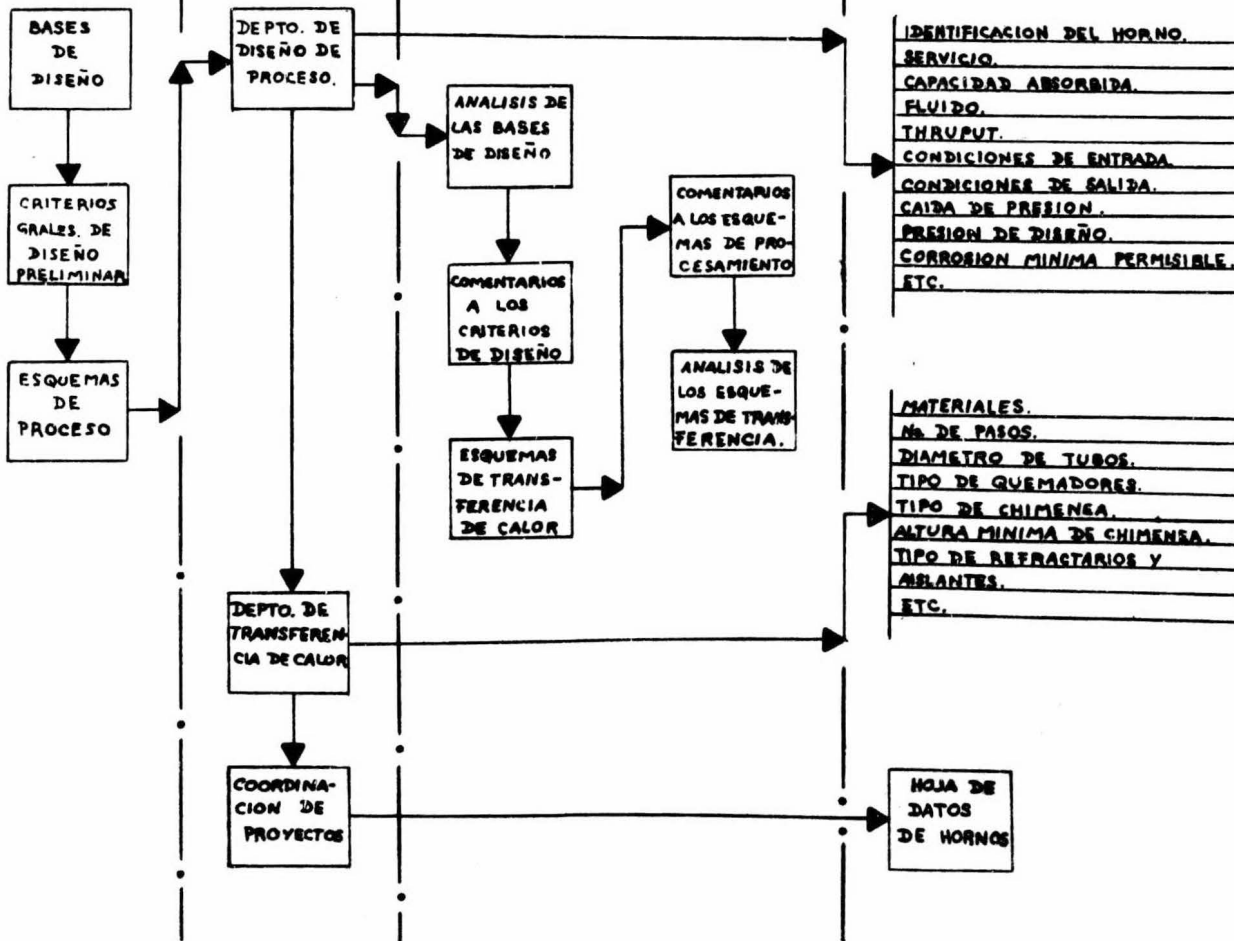
DEPTO. DE TRANSFERENCIA DE CALOR

COORDINACION DE PROYECTOS

IDENTIFICACION DEL HORNO.
SERVICIO.
CAPACIDAD ABSORBIDA.
FLUIDO.
THRUPUT.
CONDICIONES DE ENTRADA.
CONDICIONES DE SALIDA.
CAIDA DE PRESION.
PRESION DE DISEÑO.
CORROSION MINIMA PERMISIBLE.
ETC.

MATERIALES.
No. DE PASOS.
DIAMETRO DE TUBOS.
TIPO DE QUEMADORES.
TIPO DE CHIMENSA.
ALTURA MINIMA DE CHIMENSA.
TIPO DE REFRACTARIOS Y AISLANTES.
ETC.

HOJA DE DATOS DE HORNOS



C A P I T U L O IV

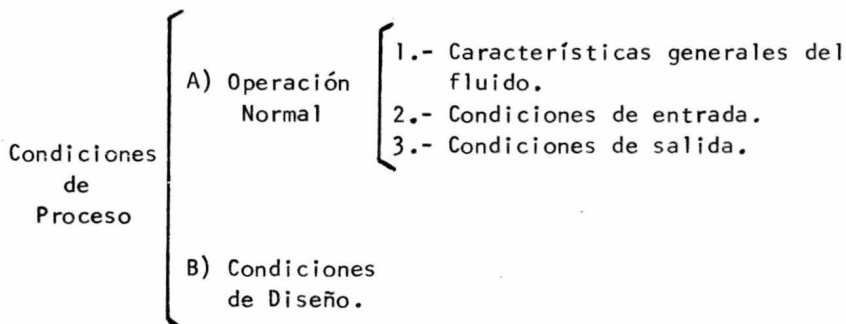
REQUERIMIENTOS BASICOS DE UN CALENTADOR

El objetivo principal que se persigue en la adquisición de un calentador a fuego directo, es la obtención del equipo que de acuerdo con la capacidad requerida para un proceso específico presente las mejores condiciones de eficiencia y flexibilidad, así como el mínimo de requerimientos para su operación, mantenimiento y un bajo costo.

Una vez decidida la adquisición de un calentador y después de adjudicada la orden de compra a un determinado fabricante, el comprador del horno deberá preparar una evaluación que defina al calentador en detalle, para así minimizar la posibilidad de desacuerdos posteriores y poder exigir la entrega puntual del equipo, así como disponer en el menor tiempo posible de toda la información de ingeniería necesaria.

La información que el comprador juzgue pertinente especificar tanto para la operación o funcionamiento del horno, como para el diseño del mismo, se estipula en la llamada "hoja de datos".

Por lo mismo en esta hoja básicamente se anotarán los datos de proceso y los datos de diseño mecánico. A continuación se incluye una secuencia esquemática con el objeto de tener una mejor idea de la colocación de estas especificaciones en esta sección de la hoja de datos.



IV.1 DATOS DE PROCESO

Para poder determinar estos requerimientos, es necesario efectuar primero los balances de materia y energía en la planta donde se requiere el calentador.

Condiciones de Proceso.

A) Operación Normal.

En esta parte de la hoja de datos se consideran las siguientes especificaciones como fundamentales para el diseño de un calentador.

Sección del calentador.- Con esta especificación se pretende describir a los serpentines, pero esta descripción puede hacerse tomando como base su servicio (por ejemplo serpentín No. 1, No. 2, etc.) o su ubicación (radiación, convección, generación de vapor, etc.).

Calor absorbido. La absorción de calor se calcula en las diferentes secciones y se supone que de un 65 a 75%

del calor disponible se transfiere en la sección de radiación, aunque este porcentaje se ve influenciado por la temperatura a la cual el combustible entra al horno. Ya que podemos decir que, en el momento en que la película de petróleo (próxima al punto más caliente del tubo) empieza a desintegrarse térmicamente y a depositar coque, se tiene el valor de absorción de calor máximo permisible.

Obviamente ésto dependerá de la naturaleza del fluido, de su temperatura promedio en los tubos y de la velocidad del mismo.

Anteriormente en el diseño de un calentador se consideraba que la absorción de calor en la sección radiante era uniforme, actualmente se ha pensado lo contrario ya que se ha visto que los tubos más cercanos a los quemadores reciben una mayor radiación. Si el fluido más frío se hace pasar por estos tubos, el calentador tendrá una mayor capacidad.

De todo lo anterior se deduce que es la experiencia que se tiene con el fluido en particular la que determina el máximo valor de absorción.

Fluido y su velocidad de flujo.- Se determinan por las

condiciones de proceso, además cuando exista la posibilidad de que el fluido se vaporice al pasar por el calentador, se deberán suministrar las curvas de equilibrio - - (de preferencia a dos ó más presiones) esto adquiere una gran importancia cuando el equipo se opera abajo de la presión atmosférica.

Condiciones de entrada y condiciones de salida del fluido de proceso.- En estas secciones se incluye la información sobre el fluido que se calentará, temperaturas, presiones y propiedades físicas tales como: gravedad específica, viscosidad, peso molecular, densidad, etc., también es necesario determinar aquí, la fracción que se encuentre como vapor tanto a las condiciones de entrada como a las de salida.

B) Condiciones de Diseño.

Establecidos los criterios generales de diseño, los esquemas de procesamiento y de transferencia de calor se procede a la determinación de las condiciones a las cuales el fluido va a entrar y salir del calentador, una vez de terminados estos requerimientos se fijan las condiciones de diseño, que no son otra cosa que un margen de seguridad que se establece para el equipo con objeto de darle flexibilidad al mismo.

Dentro de estas condiciones podemos mencionar las siguientes:

Caída de presión. Se debe calcular para el serpentín completo, incluyendo conexiones, codos, etc.

Límites de velocidad. Se refiere a límites específicos, tales como velocidad del petróleo en frío, velocidad real.

Temperatura máxima permisible. Es conveniente considerar que la temperatura máxima permisible resulta a menudo crítica, ya que conforme se eleva la temperatura del fluido, mayor es la tendencia del mismo a descomponerse o a desintegrarse térmicamente.

Esta desintegración puede ocasionar que los productos salgan en ocasiones defectuosos e inclusive que algunas veces se requiera de algún tratamiento costoso o aún de la redestilación de algunos de ellos.

Uno de los riesgos que se corren al rebasar cierto límite de temperatura, es el de que en algunos casos la corrosión puede sufrir un incremento bastante marcado, de aquí la necesidad de especificar adecuadamente esta temperatura máxima.

Factor de obstrucción. Es el recíproco del coeficiente

de transferencia de calor y se considera cuando se tiene formación de coque por ejemplo; con la especificación del factor de obstrucción se pretende proteger al calentador de entregar menos calor que el requerido por el proceso durante un período determinado. De hecho, el propósito principal de los factores de obstrucción, debe considerarse desde otro punto de vista, por ejemplo; en el diseño de una planta de proceso que contenga varios intercambiadores de calor, pero sin equipo alternativo o de repuesto, el proceso deberá discontinuarse y el equipo limpiarse tan pronto como el primer intercambiador se obstruya.

Es impráctico parar cada vez que alguno de los intercambiadores se obstruya, usando los factores de obstrucción obtenidos experimentalmente, se pueden hacer arreglos de tal forma que todos los intercambiadores en el proceso se ensucien al mismo tiempo sin considerar el servicio y con esto dismantelar y limpiar a todos en un solo paro.

IV.2 DATOS DE DISEÑO MECANICO

En esta sección de la hoja, se consideran en general los siguientes puntos:

1.- Consideraciones sobre la combustión.

Un factor importante en lo que se refiere a la eficiencia

del horno, es el exceso de aire para cada combustible, - dicho exceso también debe ser especificado por el comprador en base a su experiencia.

Cuando el aire que se considera es poco, se pueden presentar problemas de operación, tales como una combustión incompleta, cuyas características son: una pobre flama y un difícil control.

Las cantidades usuales de exceso de aire para combustible gaseoso son de 15 a 25% y para combustible líquido de 25 a 40%.

Comunmente, la eficiencia garantizada se especifica por el comprador de 70 a 80% y en base a ésta el fabricante fija la suya (eficiencia calculada) la cual siempre es - un poco mayor para así darse cierta libertad en sus cálculos de diseño.

Las pérdidas de calor en un calentador son dos: el calor que se llevan los gases por la chimenea y la radiación - del calentador a la atmósfera. La chimenea pierde de un 15 a un 20% de la carga térmica total, pero actualmente se tienen algunos calentadores con pérdidas tan bajas - que llegan al 12%.

Las chimeneas de tiro forzado o inducido, tienden a re-

ducir las pérdidas de calor, pero de cualquier manera - los gases de combustión a la salida del calentador, no - pueden tener temperaturas menores de 100° a 150° F sobre la temperatura del petróleo a la entrada.

Las pérdidas que sufre el calentador por radiación a la atmósfera son del 4 al 6% según la eficiencia del aislamiento. Comúnmente se utiliza un valor del 5%.

Del total del calor perdido por radiación, alrededor del 60% proviene de la sección radiante y el 40% del banco - de convección.

2.- Características del combustible.

Tipo de combustible.- Una de las preguntas más importantes que se le presentan al comprador de un horno es el - tipo de combustible que debe emplear, ya que el costo - del mismo, comparado con el costo total, representa alredor de un 4% del valor de los productos de las indus-trias de procesos químicos.

La desición tanto técnica como económica, debe hacerse - basándose en un estudio del combustible en el que se puntualicen los siguientes criterios:

- a) ¿Qué combustibles se encuentran disponibles para la planta?

- b) ¿Se dispone de la cantidad necesaria de combustible?
- c) ¿Cuál es su valor actual?
- d) ¿Cuál será su valor en el futuro?

Cuando se tiene que hacer la selección entre un combustible líquido y uno gaseoso, se deberá considerar la baja eficiencia térmica que presenta el gas (debido a la cantidad de hidrógeno combinado) y la incosteabilidad de su almacenamiento.

En lo que respecta a los combustibles líquidos, hay que tener en cuenta que se puede tener una atomización muy pobre, necesidad de mayor cantidad de aire y aún, efectos de carbonización. Además se deben considerar los costos de bombeo, calentamiento y atomización, quemadores más caros y un mayor mantenimiento, pues habrá que neutralizar los depósitos de cenizas y la corrosión debida al azufre contenido en él.

Poder calorífico del combustible. Al especificar el valor de calentamiento (de preferencia el mínimo) resulta conveniente expresarlo en términos de BTU por libra de combustible. Inclusive cuando se tiene combustible gaseoso es más apropiado esta relación que tenerla en términos del poder calorífico por pie cúbico, ya que posteriormente al efectuar los cálculos de la relación aire-combustible, éste valor se establece en función de la masa.

Otras propiedades que se tienen que especificar al fabricante del calentador, en lo que respecta al combustible, son su gravedad específica y su viscosidad.

Presión de combustible disponible. La presión del combustible disponible en el quemador tiene que ser determinada por el comprador del calentador, ya que él, es el que generalmente estipula el bombeo del combustible.

Contaminantes en los combustibles. Cuando el combustible que se usa es un gas, es importante conocer su composición y la relación de H/C (Hidrógeno-Carbono).

Si se determina el contenido de vanadio, sodio y azufre en el combustible líquido, puede anticiparse una disminución en el costo de mantenimiento.

En el caso de gas combustible, puede ser que se encuentren fracciones apreciables de dióxido de carbono o nitrógeno, o ambos a la vez. Es importante especificar esto a causa de que pueden verse afectadas las características de la combustión y el poder calorífico del combustible por la operación del dióxido de carbono, cuyo registro se deberá considerar para controlar la cantidad de aire de combustión.

Temperatura del combustible. La temperatura a la cual se debe calentar el combustible es también una especificación importante

te, ya que con esto se puede lograr una buena atomización.

3.- Condiciones de diseño mecánico.

Esta parte de la forma de especificaciones es otra sección general en la cual se explica al diseñador si existe cualquier peculiaridad especial.

Diseño del serpentín. En la sección sobre el diseño del serpentín, el comprador del calentador debe especificar la presión y temperatura de diseño, las cuales generalmente se establecen entre un 10 y un 50% arriba de las condiciones de operación. Además también especificará la corrosión permisible para todos los tubos y conexiones.

Tubos. Los datos anteriores a este punto, permitirán al diseñador del horno seleccionar el tamaño del tubo y el arreglo de los pasos. Para realizar éste y otros cálculos, el diseñador probablemente se basará en ciertas reglas y correlaciones que ya tenga recopiladas por los datos aportados de sus diseños anteriores.

4.- Especificaciones de materiales.

Uno de los principales intereses que se persigue en la adquisición de un calentador a fuego directo es el de que los materiales que se usarán en los puntos críticos del horno sean los adecuados.

Los materiales de tubos, cabezales tipo-tapón, codos de retorno, terminales, conectores radiación-convección y soportes de tubo deben describirse de acuerdo a la especificación de la ASTM (Sociedad Americana de Prueba de Materiales). El comprador del calentador deberá especificar su localización dentro del equipo, aclarando si las juntas o conexiones van soldadas, bridadas o rolandas.

Cuando el equipo sufre fallas prematuras, se puede decir que las condiciones de operación (temperaturas, - presiones, corrosión, erosión del medio ambiente, etc.) no se encuentran bien especificadas. Ya que éstas, junto con el servicio en particular, son las que van a determinar la selección de los materiales.

Esta selección dependerá en gran parte de la capacidad que ofrecen cierto tipo de materiales para mantener una fuerza adecuada y la suficiente resistencia a la corrosión a temperaturas de servicio.

Si las condiciones lo justifican, es usual añadir un margen de corrosión a los tubos del calentador, soportes de tubo, etc. Estas tolerancias se pueden observar en las Tablas IV. 1 y IV. 2 obviamente dependiendo del

ESPECIFICACION ASTM & GRADO

Tube	Pipe	Material	Corrosión Mínima Permisible, Pulg.
A 161, low C-Si	A 106, Gr B	C - Si	1/8
A 161, Gr T 1	A 335, Gr P 1	C - 1/2 Mo	1/8
A 200, Gr T 11	A 335, Gr P 11	1 1/4 Cr - 1 Mo	3/32
A 200, Gr T 22	A 335, Gr P 22	2 1/4 Cr - 1 Mo	3/32
A 200, Gr T 21	A 335, Gr P 21	3 Cr - 1 Mo	3/32
A 200, Gr T 5	A 335, Gr P 5	5 Cr - 1/2 Mo	1/16
A 200, Gr T 7	A 335, Gr P 7	7 Cr - 1/2 Mo	1/16
A 200, Gr T 9	A 335, Gr P 9	9 Cr - 1 Mo	1/16
A 271, Gr TP 304	A 312, Gr TP 304 *	18 Cr - 8 Ni	1/32
A 271, Gr TP 321	A 312, Gr TP 321 *	18 Cr - 8 Ni (Ti)	1/32
A 271, Gr TP 347	A 312, Gr TP 347 *	18 Cr - 8 Ni (Cb)	1/32
A 213, Gr TP 310	A 312, Gr TP 310 *	25 Cr -20 Ni	1/32
A 213, Gr TP 316	A 312, Gr TP 316 *	18 Cr - 8 Ni (Mo)	1/32

TABLA IV.1 CORROSION MINIMA PERMISIBLE PARA TUBOS Y TUBERIA DE CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

* Tubería sin costura

Temperatura del Metal (°F)	Esfuerzo Admisible (Psi)	Corrosion Mínima Permisible, Pulg.
1 400	4 000	Ninguna
1 500	3 000	Ninguna
1 600	2 000	1/32
1 700	1 500	1/32
1 800	1 000	3/64
1 900	750	1/16
2 000	500	5/64

TABLA IV. 2 CORROSION MINIMA PERMISIBLE PARA SOPORTES DE TUBO DE HORNOS. A 447-Tipo 11 (25 Cr-12 Ni Alloy)

servicio, estos márgenes de corrosión mínima se van a poder incrementar considerablemente.

Entre los materiales recomendados para la fabricación de calentadores a fuego directo, se encuentran los siguientes:

- a) Para servicios generales y temperaturas arriba de los 500°F se utiliza acero al carbón al bajo cromo que contenga especialmente molibdeno.
- b) Para muy altas temperaturas y sin presencia de cloruros se utilizan aceros inoxidables A-304 ó el A-213 en sus grados adecuados.
- c) Para ataque del ácido sulfhídrico (H₂S), sin trazas de cloruro y alta temperatura, se utilizan inoxidables prefiriendo el A-304 al A-321, este último estabilizado con titanio.

Otra especificación de orden mecánico que contribuirá a la larga vida del horno, es la que se refiere al tipo de fundición que sostiene el sistema de tubos. La práctica indica que en las zonas de alta temperatura, dicha fundición debe contener un 25% de cromo y un 12% de aleación de acero al níquel y además, para evitar el pandeamiento de los tubos, las piezas de fundición deben

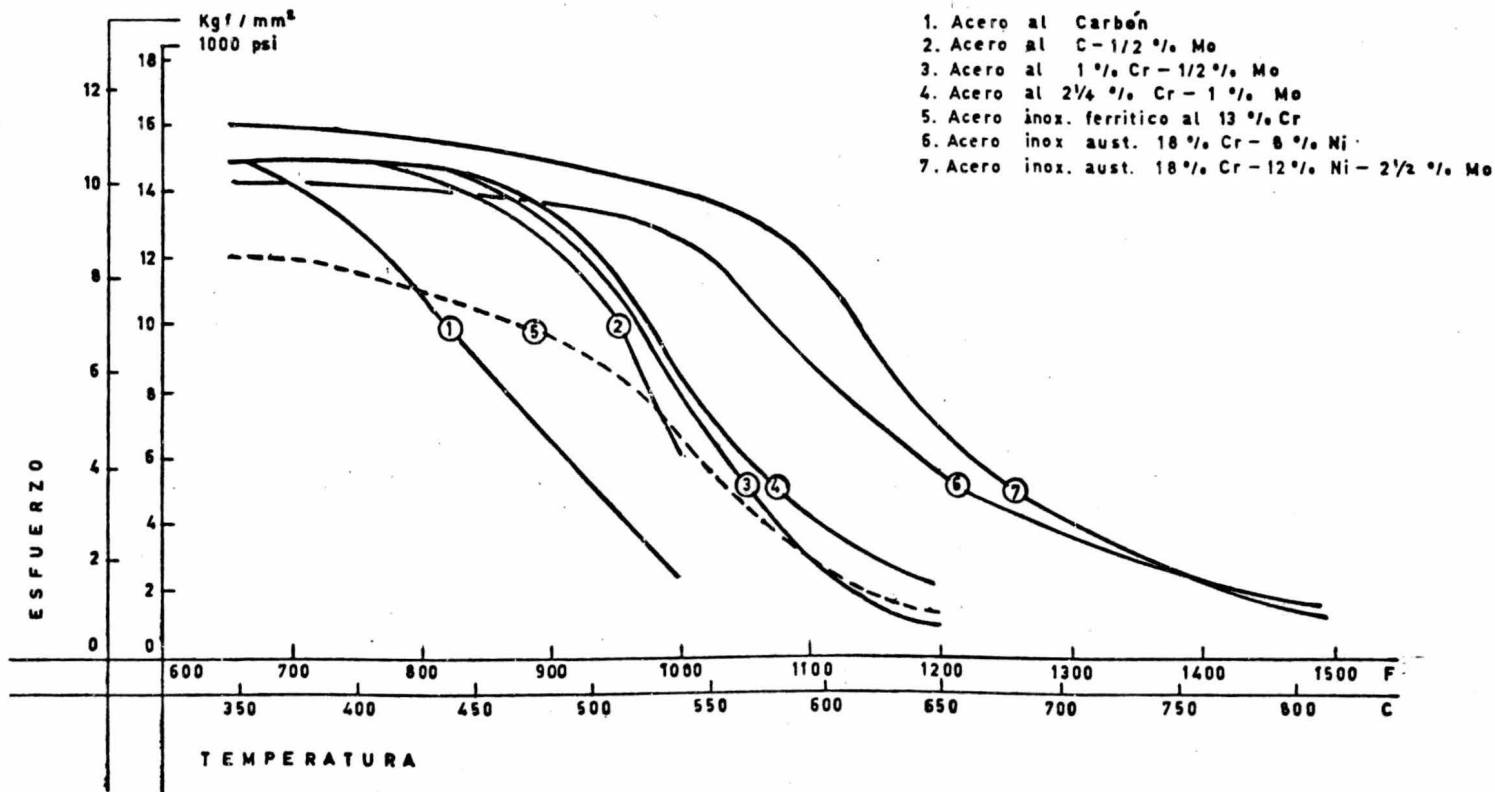
estar estrechamente espaciadas. La expansión y contracción de los tubos se previene, mediante el uso de un - coeficiente de fricción. También aquí la experiencia - del fabricante es de valor inestimable para el compra- dor. Una aleación baja de fierro, o de acero al carbón aislado o de una mezcla de ambos, será así mismo conve- niente para las zonas de baja temperatura de los gases de combustión.

Otra consideración íntimamente ligada al coeficiente de absorción de calor y a las temperaturas de película, es la correcta especificación de los tubos.

En general las gamas de temperatura existentes en la mayoría de los procesos, no afectarán la durabilidad de - los tubos de acero al carbón, siendo necesarias diferen- tes aleaciones sólo ante la presencia de sustan- cias corrosivas. Nada puede afirmarse definitivamente sobre la cantidad de corrosión que puede esperarse, ni sobre la aleación que mejor recista, ya que cada caso - particular exige soluciones particulares.

En la práctica suelen especificarse tubos de acero al - carbón en las instalaciones iniciales y si luego se presentan corrosiones, dichos tubos se sustituyen por otros

FIGURA IV.1 MAXIMOS ESFUERZOS PERMISIBLES PARA LOS ACEROS INDICADOS



de alguna aleación, según la severidad y frecuencia de aquéllas.

Detalles sobre algunos conceptos anteriores.

Las zonas o puntos calientes del sistema de tuberías son principalmente debidas a tres motivos:

- a) Depósitos en el interior de los tubos.
- b) Contacto directo con la flama.
- c) Distribución incorrecta de la superficie tubular.

Suponiendo que se utilizan tubos interiormente límpios, la eliminación de zonas calientes dependerá de la cantidad y tipo de quemadores y de su distribución; de forma que se eviten contactos directos con la flama. También dependerá de que el diseño mecánico del calentador asegure la buena recirculación y distribución del calor en todo el espacio del calentador.

Tanto la selección de los quemadores, como la distribución adecuada de las superficies de calefacción, son responsabilidad del diseñador del horno. En cuanto a la descomposición del material en el interior de los tubos, ésta puede ser responsabilidad conjunta del fabricante del horno y del comprador, pues las características de descomposición del crudo deben ser dadas a conocer al fabricante antes de que éste pueda ofrecer un modelo adecuado.

Consideremos ahora la capacidad que tienen ciertos tipos de calentadores para absorber mayores cantidades de calor que otros sin que por ello sea mayor la temperatura de su película de combustible líquido. Ello -

requiere naturalmente el empleo adecuado de la superficie de los tubos sometida a la acción del calor. Numerosos experimentos muestran que, modificando la distancia entre la parte posterior del tubo y la pared de refractario, se obtienen considerables diferencias de absorción de calor en el interior del tubo. En otras palabras, favoreciendo la recirculación de los gases de combustión por dentro de la cámara de radiación, se hace posible una absorción de calor considerablemente mayor que la que se obtendría exponiendo sólo una porción del tubo al calor de radiación.

Usualmente, dependiendo del tipo de calentador, se tienen baja, mediana y gran capacidad.

Los calentadores de baja capacidad llegan hasta los cinco millones de BTU/Hr, los de mediana capacidad hasta cien millones de BTU/Hr y los de gran capacidad hasta cuatrocientos millones de BTU/Hr.

C A P I T U L O V

CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES

Generalmente los calentadores a fuego directo tienen un armazón de acero estructural, en el cual se fijan tanto los soportes colados de los tubos, los colgantes y las mamparas.

Los soportes colados se deberán diseñar para permitir expansión.

Es frecuente el uso de revestimientos laminares de acero, pero dichos revestimientos podrán omitirse en lugares cuyo clima sea moderado, obteniéndose con esto el subsecuente ahorro.

De preferencia cada soporte superior no deberá sostener más de dos tubos (Fig. V.1.) para evitar esfuerzos y torceduras ocasionados por las diferenciales de temperatura en las distintas partes de los soportes. Es conveniente que los que se encuentran fijos a la pared del calentador, sean del tipo "gancho", ver (Fig. V.2.) el material de la pared del horno, deberá tener una gran resistencia para poder soportar las elevadas temperaturas que se presentan.

Los soportes intermedios de tubos, que se encuentran en el banco de convección, también deben ser de material resistente al calor, aunque por lo general se requieren aleaciones de menor calidad que las de la pared.

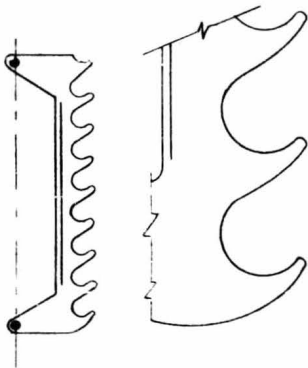


FIGURA V.2 TÍPICO SOPORTE DE TUBO DE PARED (TIPO GANCHO)

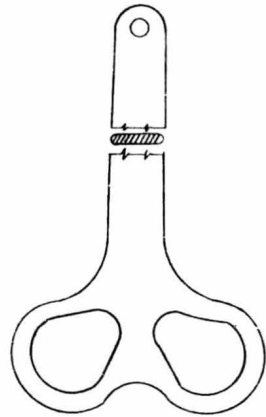


FIGURA V.1. SOPORTE DE TUBO DE TECHO

Cuando el diseño de estas placas requiere de una gran área, con el objeto de que se sostengan varios tubos, las regiones o porciones próximas a los gases, se calentarán más rápidamente que el resto y por consiguiente tenderán a torcerse. Para tal fin, se recomienda el uso de placas - angostas, que sostengan más o menos tres hileras de tubos, con orejas - para facilitar su ensamblaje y así obtener un trabajo más satisfactorio. Estas placas pueden estar soportadas en unas guías con forma de canal - sobre las paredes del recinto del banco de convección (Fig. V.3.).

Los soportes extremos de tubos, para bancos de convección, si pueden - ser de un tamaño mayor para que se pueda revestir con refractario la - parte caliente y con esto se evite que sufran tanto calentamiento como en el caso de los soportes intermedios.

Cimentación.-

Generalmente todo calentador descansa sobre una cimentación de concreto. La cual puede ser una losa, si es que el terreno es bueno, o también - puede encontrarse apoyado sobre una estructura de pilotes, con la losa soportada por vigas de concreto.

Cuando el piso de la cámara de combustión se encuentre prácticamente a ras del suelo, se tendrá que suministrar ventilación y enfriamiento sobre la parte superior de la losa. Ya que ni aún poniendo una gran cantidad de aislante sobre el piso del refractario se evitará que la losa se sobrecaliente y posteriormente el concreto se calcine.

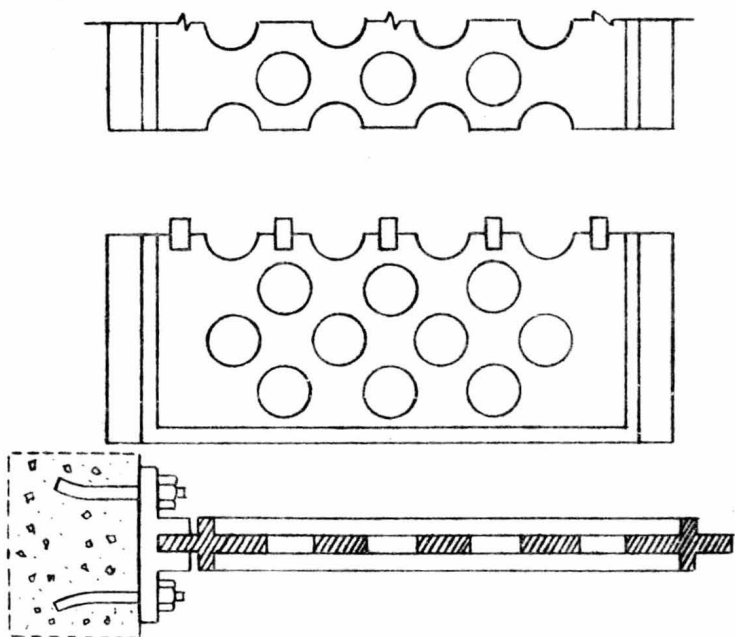


FIGURA V. 3. GUIAS USADAS EN EL BANCO DE CONVECCION COMO SOPORTES DE TUBO INTERMEDIOS.

A menos que se disponga de algunos medios que remuevan el calor que pasa a través del refractario, como sería colocar una capa de mosaico hueco, para formar ductos de aire sobre el piso (teniendo cuidado de que los extremos de estos ductos no sean bloqueados al fijar las columnas a la losa).

Mirillas de observación.-

Estos lugares se deberán colocar a través del refractario, con objeto de inspeccionar todos los tubos que se encuentren en la sección de radiación y así poder detectar la formación de puntos calientes. Las mirillas se deberán construir con una aleación resistente al calor.

Registros de hombre.-

Deben preverse cuando menos una o dos entradas hombre, con armazón de hierro fundido para permitir la inspección interna de la cámara de combustión.

Es conveniente apilar una cierta cantidad de ladrillos refractarios frente a estas entradas antes de cerrarlas.

Techado.-

Es práctica común, el empleo de un techo sobre los hornos, para protegerlos de la lluvia.

Generalmente estos techos estan hechos de asbesto corrugado instalados sobre un armazón.

El efecto de enfriamiento que representa una lluvia normal se desprecia.

Plataformas y escaleras.-

El acceso a los cabezales, requiere la instalación de plataformas para realizar la inspección y el mantenimiento de los tubos.

Para los tubos que se encuentran en las paredes, algunas ocasiones resulta más conveniente el uso de plataformas móviles. Las plataformas deben tener una amplitud de cuatro o cinco pies para que en dado caso, se pueda instalar sobre ellas un cuarto de operación. Es aconsejable verificar que el diseño de las escaleras convencionales y marinas se efectue en base a los estándares de refinería.

Aire para los limpiadores de tubos.-

Se debe procurar la instalación tanto de tubería como de conexiones fácilmente desmontables para el aire de los limpiadores de tubos, en sitios estratégicos.

Generalmente, esta tubería se encuentra adherida a los postes de los pasamanos e inclusive en algunas ocasiones forma parte de la barandilla.

Alumbrado.-

Para lograr una buena inspección durante la operación se deberá instalar alumbrado eléctrico, que a su vez permita una mejor visibilidad al efectuarse la limpieza de los tubos.

Dicho alumbrado se deberá colocar de tal modo que no quede expuesto a posibles daños por el manejo del equipo de mantenimiento.

Algunas veces se usa el sistema a prueba de explosión, pero la parrilla

que protege al vidrio, dificulta su limpieza. Desde este punto de vista, el sistema a prueba de vapor, en el cual se tiene un recinto con un vidrio más grueso, resulta más satisfactorio.

Chimeneas.-

Es conveniente que el diámetro de las chimeneas de los calentadores sea suficientemente grande para que se pueda manejar la mayor cantidad posible del gas que sale del horno con lo cual se evita una pérdida excesiva por fricción, además la descarga de gas se deberá hacer a una altura apropiada para que no constituya un riesgo o molestia sobre algún equipo adyacente.

El tiro disponible para una chimenea de diámetro "D" y con una altura "H" puede calcularse por medio de la siguiente formula:

$$P_a = 0.0765 \left(1 - \frac{529}{T} \right) H - \frac{0.0251 M^2 (H + D/f)}{\rho D^5}$$

En donde:

P_a = Tiro disponible en términos de, Lb. fuerza/Ft² (1 Lb.f./Ft² = 5.2 Pulg. de agua)

T = Temperatura del gas en la chimenea, °R = °F + 460

H = Altura de la chimenea, Ft

M = Flujo masa del gas que abandona el calentador, Lb. m./seg.

f = Factor de fricción.

(Con un valor aproximado de 0.016)

D = Diámetro, Ft.

V.1. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA SELECCION DE MATERIALES

La chimenea más económica es un simple tubo de acero. Para alturas superiores a los 200 pies el espesor varia de 1/4" a 5/16".

Las chimeneas de acero, de preferencia deben tener casi 1½ pulgadas de aislamiento plástico en la superficie externa para mantener al metal caliente y así evitar la posible condensación de gases ácidos contenidos en los gases, con la presencia de humedad, lo que ocasionaría una rápida corrosión. Además con este revestimiento se previene la pérdida de calor evitando el enfriamiento de los gases, lo que reduciría el tiro producido y la capacidad.

Consideraciones estructurales y aerodinámicas.

Una chimenea elevada, siempre tenderá a encorvarse por la acción que el viento ejerce sobre ella. Para estructuras comunes (alturas menores de 60 Ft), esta acción se considera que tiene un valor de 15 Lb/Ft²; y para alturas mayores, 20 Lb/Ft². Para un cilindro, el flujo es más uniforme y la resistencia menor.

El diseño de todas las chimeneas para calentadores se deberá hacer de tal forma que sean lo bastante resistentes al encorvamiento. Cuando la chimenea no disponga de alambres que la sujeten, se requerirá una cimentación con mayor solidez.

Condiciones de diseño para el serpentín.

El serpentín de un calentador de proceso es la parte más importante y generalmente la más costosa. (Fig. V.4.)

Usualmente los serpentines están formados de tubos conectados en serie por medio de cabezales o codos. En calentadores de algún proceso catalítico donde se tiene al catalizador dentro de los tubos de los mismos, estos tubos estarán en paralelo con los cabezales de entrada y salida, pero esta clase de calentadores no son muy comunes.

La tubería en su extensión, se encontrará conectada por los llamados "accesorios del calentador", los cuales incluyen todas las conexiones comúnmente conocidas, tales como cabezales o cajas de unión, codos, etc. En los calentadores a fuego directo, los accesorios pueden ser de tipo roscado o soldado.

A lo largo de la sección del calentador, los serpentines pueden describirse ya sea por su servicio (serpentín de proceso No. 1, No. 2, etc.) o por su localización física (radiación, convección, etc.). Generalmente la absorción calorífica en cada sección la determina el diseñador del calentador.

Una consideración general que se utiliza en el diseño de estos equipos es que el calor disponible que se absorbe en la sección de radiación es de un 65 a 75% y el resto se absorbe en la sección de convección.

Aún en las ocasiones en las que el comprador del horno este capacitado para especificar la absorción de calor entre las dos secciones, normal-

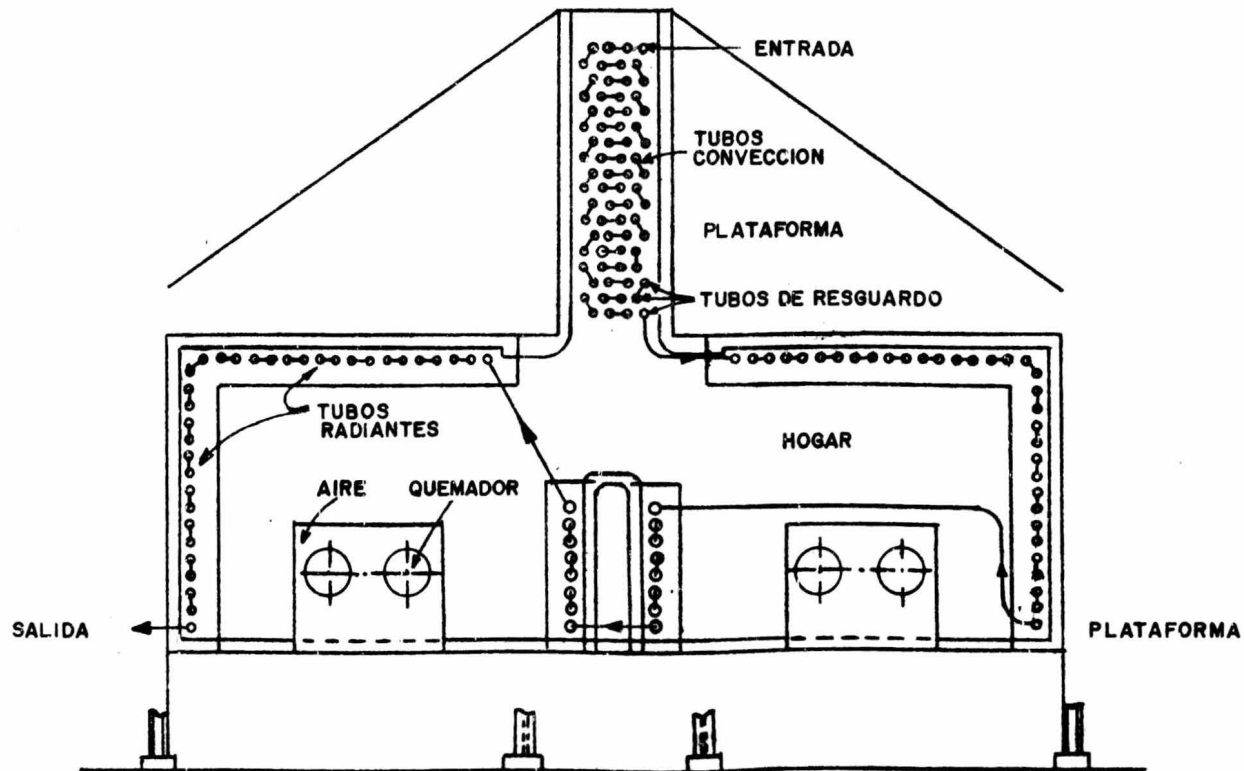


FIGURA V.4 SECCION TRANSVERSAL DE UN SERPENTIN DE CALENTAMIENTO.

mente toma en cuenta las consideraciones del diseñador.

El fluido y su proporción de flujo se determinarán por las condiciones del proceso, pero la caída de presión en el calentador y la temperatura del mismo, así como la corrosión permisible para todos los tubos y - - accesorios, se establecen a juicio del comprador. La máxima caída de - presión influirá en el tamaño del tubo y en el número de pasos en paralelo. Adicionalmente la presión de diseño la fijará el comprador con - un valor que va del 10 al 50% arriba de las condiciones de operación.

Densidad de flujo promedio. Es el calor que absorbe una sección en particular del serpentín por unidad de área externa de la superficie expuesta al calentamiento.

Densidad de flujo máxima. Es la máxima relación de transferencia de - calor en cualquier punto de la sección del serpentín; debiéndose tener en cuenta la distribución de flujo de calor tanto longitudinal como circunferencial.

Tanto la relación de absorción de calor máxima como la promedio pueden - ser especificadas por el usuario considerando su experiencia.

La máxima temperatura de película permisible, también esta en función - del fluido de proceso, el cual se va a poder descomponer térmicamente a temperaturas elevadas. Esto adquiere una gran importancia en el campo - del calentamiento indirecto, donde el fluido calentado es un líquido or-gánico.

Las condiciones de entrada para la sección de convección se establecen por el proceso y por lo mismo, deberán ser estipuladas por el comprador del calentador, con lo cual el fabricante calculará las condiciones de salida de esta misma zona, las que en consecuencia serán las condiciones de la entrada del hogar (firebox).

Tubos de resguardo (Shield Tubes).

Estos tubos se encuentran en la sección de convección que queda frente a la flama pero funcionan como si fueran tubos de la zona de radiación, por consiguiente se les debe diseñar de tal forma que queden separados del resto de la zona de convección.

El diseñador del horno selecciona el tamaño del tubo y el arreglo que se tendrá, así como el número de pasos.

También propondrá un espaciamiento para los tubos de la sección de radiación. Un espaciamiento amplio permite una mayor absorción radiante a temperaturas del hogar relativamente bajas; un espaciamiento reducido permite más tubos en un hogar de tamaño determinado. Wimpres sugiere que el espaciado normal sería de dos veces el diámetro exterior del tubo.

Una vez que el diseñador selecciona un diámetro apropiado, espaciamiento y número de tubos, obtendrá de esto la superficie de transferencia de calor total necesaria en la sección de convección.

Al comprar un calentador, no se debe pasar por alto, que la máxima temperatura de la pared del tubo en la sección que especifica el diseño, - se refiere a la parte más caliente del serpentín.

Tipo de Quemadores.

El tipo de quemadores, por supuesto, depende del combustible que se use, líquido, gas o para ambos.

Frecuentemente la capacidad del horno se encuentra limitada entre otras cosas, por las llamas que alcanzan a hacer contacto con los tubos, ocasionando con esto, la formación de sitios con una temperatura mayor a la que se tiene en las otras secciones del tubo (puntos calientes). Por esta consideración siempre es conveniente tener una flama pequeña. Además también es aconsejable tener un gran número de quemadores pequeños, lo que en ocasiones permite inclusive, el uso de una cámara de combustión reducida.

Para obtener una flama pequeña, la velocidad del combustible a través del registro de flujo del quemador deberá ser suficientemente elevada (40 ó 60 pies por seg.). Esto requerirá el empleo de un ventilador de tiro forzado uniforme, aún cuando no se disponga de un precalentador de aire.

Los quemadores no deberán instalarse demasiado cerca de los tubos. Una distancia de tres a cinco pies, entre los tubos y el centro de los quemadores, es bastante razonable. Obviamente ésto dependerá del tamaño del quemador.

Para los quemadores que se encuentran localizados en los extremos de las paredes, se utiliza frecuentemente una separación de cinco pies entre éstos y las paredes.

El combustible líquido se deberá atomizar para quemarse, lo cual se logra mediante la inyección de vapor en la boquilla del quemador, o con los llamados 'quemadores mecánicos', en donde el combustible fluye a elevadas presiones, lo que proporciona la energía necesaria para obtener la atomización.

Los quemadores de gas pueden tener un esprea que puede intercambiarse con un quemador que emplee combustible líquido, o utilizar un anillo con numerosos agujeros circundando al orificio refractario del quemador. Este tipo, frecuentemente se usa como una combinación de quemadores de gas y del líquido.

Si existe un precalentador de aire, el aire de combustión fluirá a través de un ducto aislado para evitar las pérdidas de calor y para protección de los operadores. Es importante que existan en estos ductos, juntas de expansión para evitar posibles deformaciones debidas a expansiones térmicas del material de construcción del ducto.

Los quemadores deberán inspeccionarse mientras el calentador se encuentra en operación. En los casos en los que se requiera una reparación mecánica y ésta no se pueda realizar con la unidad operando, el quemador

defectuoso debe removerse y reemplazarse inmediatamente. Esto es importante para mantener uniformes las condiciones de encendido.

El desajuste de los quemadores ocasiona un encendido deficiente y con esto se pueden presentar serias deterioraciones en el fluido que se esta calentando.

V.2. COSTOS

A continuación se muestra una recopilación de datos sobre costos de hornos, proporcionada por el Instituto Mexicano del Petróleo.

Los datos se encuentran agrupados por fechas, debido a que hay en existencia sólo datos de 26 hornos a diferentes años.

Básicamente dichos calentadores son los que se encuentran en las diferentes refinerías de Petróleos Mexicanos, o sea hornos con sección de radiación y convección.

Para el costo del horno se tomó como base su carga térmica y se consideró que el 72% del costo total de los mismos incluye: costos de estructura, plataforma y de calentador en los que se abarcan las secciones de convección y de radiación así como los quemadores.

En estos calentadores no se tomaron en cuenta los costos del refractario, pero se estableció que el 12% del costo total del horno corresponde al mismo.

Además se incluyen: una gráfica (costo VS. carga térmica) con objeto de tener una mejor visión sobre el precio de los calentadores y otra, en la que se comparan los costos de algunos aceros usuales a temperaturas elevadas.

CARGA
TERMICA
M.M.
BTU/Hr

TABLA V. 1 COSTOS DE HORNOS (Sin Refractario)

	1972	1973/SEPT.	1974/ENERO	1974/OCTUBRE (1)	1974/OCTUBRE (2)
20		580 000	673 497	790 540	779 146
23	790 000	660 000	769 497	899 580	889 977
30	982 000	800 000	929 200	1 090 400	1 074 619
40	1 160 000	1 020 000	1 184 000	1 390 260	1 369 190
50	1 330 000	1 250 000	1 451 875	1 703 750	1 617 195
60	1 510 000	1 489 000	1 729 473	2 029 507	2 000 135
70	1 640 000	1 710 000	1 986 165	2 330 073	2 296 998
80	1 830 000	1 930 000	2 242 856	2 630 590	2 593 862
90	2 000 000	2 150 000	2 497 225	2 930 450	2 888 040
100	2 115 000	2 350 000	2 717 910	3 203 050	3 143 262
110	2 240 000	2 520 000	2 903 750	3 434 760	3 399 687
120	2 370 000	2 700 000	3 136 050	3 680 100	3 626 841
130	2 480 000	2 870 000	3 333 533	3 911 810	3 855 190
140	2 590 000	3 060 000	3 554 190	4 170 780	4 110 669
150	2 680 000	3 324 000	3 860 826	4 530 612	4 465 045
160	2 780 000	3 415 000	3 966 511	4 654 645	4 587 558
170	2 800 000	3 600 000	4 181 140	4 906 800	4 835 789
180	2 910 000	3 800 000	4 413 700	5 179 400	5 104 753
190	2 999 000	3 890 000	4 518 235	5 302 070	5 225 655
200	3 010 000	4 160 000	4 831 840	5 670 080	5 588 361
210	3 020 000	4 320 000	5 017 680	5 888 160	5 802 831
220		4 440 000	5 203 520	6 106 240	6 017 870
230		4 620 000	5 366 130	6 297 060	6 205 929
240		4 780 000	5 551 970	6 515 140	6 420 853
250		4 910 000	5 678 415	6 692 330	6 567 086
260		5 100 000	5 923 650	6 951 300	6 850 701

NOTAS: (1) El costo del equipo incluye mano de obra.
(2) Sólo se considera el precio del equipo.

COSTO
HORNO
S X 10³

FIGURA V.5 CALENTADORES A FUEGO DIRECTO
ACTUALIZACION A OCT. / 74
REL. = COSTO VS CARGA TERMICA.

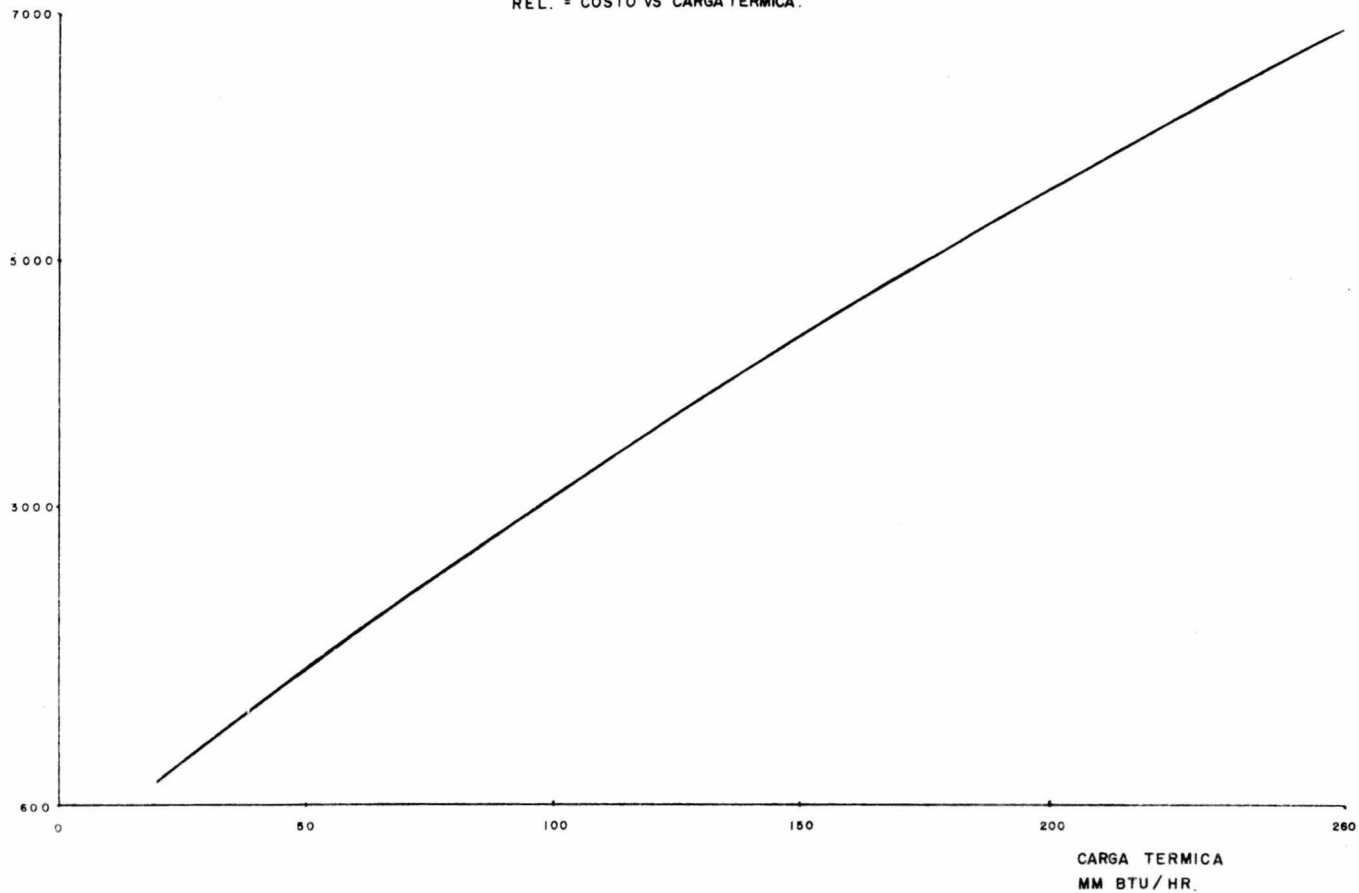
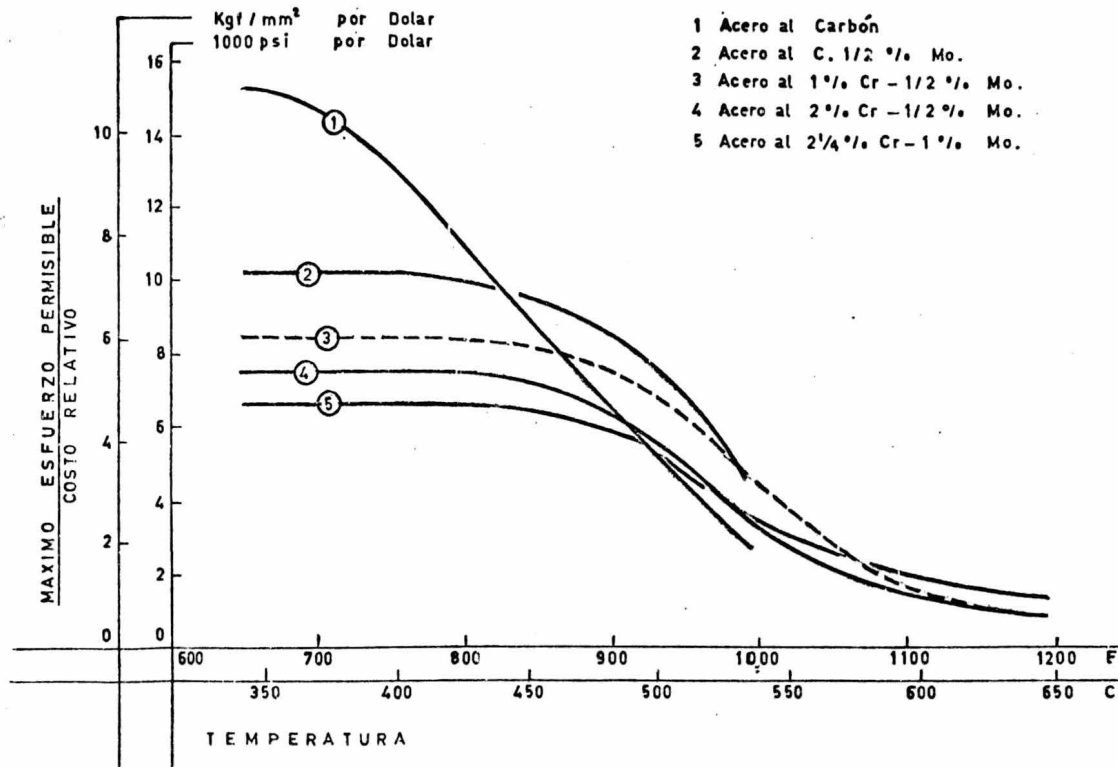


FIGURA V.6 COMPARACION DE COSTOS DE ALGUNOS ACEROS COMUNENTE USADOS PARA ALTA TEMP.



HOJA DE DATOS DE DISEÑO MECANICO

Datos de diseño estructural: Carga de viento _____ Factor sísmico _____

Limitaciones de planta _____

Otras limitaciones _____

Lista de estandares o especificaciones aplicables:

- | | |
|----|----|
| 1. | 3. |
| 2. | 4. |

DATOS PARA ANALISIS DE COMBUSTION

Tipo de combustible.	_____	_____	_____	_____
Porcentaje de exceso de aire.	_____	_____	_____	_____
Porcentaje de eficiencia mínimo.	_____	_____	_____	_____
Temperatura ambiente, °F.	_____	_____	_____	_____
Altitud, FT sobre el nivel del mar.	_____	_____	_____	_____

DATOS SOBRE EL COMBUSTIBLE

Tipo de combustible.	_____	_____	_____	_____
Poder calorífico bajo.	_____	_____	_____	_____
Gravedad específica.	_____	_____	_____	_____
Viscosidad _____ °F	_____	_____	_____	_____
_____ °F	_____	_____	_____	_____
Presión del combustible en el quemador, Psig.	_____	_____	_____	_____
Temperatura del combustible, °F.	_____	_____	_____	_____
Presión de vapor para atomización, Psig.	_____	_____	_____	_____
Temperatura del vapor, °F.	_____	_____	_____	_____
Contenido de: vanadio, PPM.	_____	_____	_____	_____
: sodio, PPM.	_____	_____	_____	_____
: azufre, % en peso.	_____	_____	_____	_____
Gas: peso molecular.	_____	_____	_____	_____
Costo del combustible líquido, US. DLLS/BBL	_____	_____	_____	_____
Costo del combustible gas. US. DLLS/BBL	_____	_____	_____	_____

CONDICIONES DE DISEÑO MECANICO

DESCRIPCION	_____	_____	_____	_____
DISEÑO DEL SERPENTIN	_____	_____	_____	_____
Sección del calentador	_____	_____	_____	_____

CAJAS DE CABEZAL

Localización _____ Material _____
Material aislante _____
Las puertas de las cajas de cabezal
con perno o de bisagra _____

QUEMADORES

Fabricante y tipo _____ Localización _____

ARREGLOS

Paredes verticales expuestas:

Cubierta exterior: Espesor _____ Material _____
Aislante y refractario _____
Placa metálica aislante _____
Sujeción para la placa metálica (soldadura o remaches) _____

Paredes verticales de resguardo:

Cubierta exterior: Espesor _____ Material _____
Aislante y refractario _____
Placa metálica aislante _____
Sujeción para la placa metálica (soldadura o remaches) _____

Arco:

Cubierta exterior: Espesor _____ Material _____
Aislante y refractario _____
Placa metálica aislante _____
Sujeción para la placa metálica (soldadura o remaches) _____

Piso:

Elevación mínima sobre el piso _____
Cubierta exterior: Espesor _____ Material _____
Aislante y refractario _____

Sección de convección:

Cubierta exterior: Espesor _____ Material _____
Aislante y refractario _____
Placa metálica aislante _____
Sujeción para la placa metálica (soldadura o remaches) _____

Chimenea:

Autosoportada o contraventada _____ Material _____
Espesor mínimo _____ Nivel máximo sobre el piso _____
Material de revestimiento _____ Extensión del revestimiento _____

Reguladores de tiro:

Material _____
Descripción del sistema de control del regulador _____

Ductos calientes, tragante (Breeching), fluxes y colectores:

Material _____ Especificación ASTM _____
Tipo de aislante _____

Ductos de aire frío

Material _____ Especificación ASTM _____

Misceláneos:

Localización de escaleras convencionales _____
Localización de escaleras marinas _____
Localizaciones de puertas de acceso _____
Otras conexiones (número y tamaño) _____
Chimenea _____ Tomador de muestra _____
Temperatura _____ Vapor de varrido _____
Drenaje de la caja de retornos _____ Drenaje de la chimenea _____
Drenajes de serpentín _____ Otros _____
Plataforma móvil para mantenimiento _____
Puertas de explosión: localización y tamaño _____

Equipo especial (sopladores de holiín, precalentador de aire, amortiguadores de ruido). _____

C O N C L U S I O N E S

Siempre que se logren especificar correctamente los requerimientos necesarios de un calentador se obtendrán resultados finales satisfactorios. Los propósitos básicos que persigue la especificación correcta de los calentadores son:

- a) Obtención de la operación más económica y eficiente del aparato.
- b) Que dicha operación se realice en las condiciones debidas de seguridad.

Ambos proporcionarán una larga vida al calentador y reducirán al mínimo las paradas por mantenimiento.

Un funcionamiento seguro y económico y la reducción de paradas de mantenimiento implica que en la especificación de los calentadores se tomen en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) Los coeficientes de absorción de calor deben ser lo bastante moderados para que no se produzcan sobrecalentamientos ni altas temperaturas de superficie, lo cual provocaría la descomposición del producto.
- 2) Las eficiencias térmicas de operación, deberán mantenerse tan altas como prácticamente sea posible, desde el punto de vista económico, basándose en las informaciones proporcionadas por la experiencia del fabricante.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Orrok, Trans. Am. Soc. Mech. Eng., 1925, 1148.
- 2.- Hudson, Engineer, 70, 523 (1890).
- 3.- Nelson, W.L., Petroleum Refinery Engineering, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc., 1958.
- 4.- Gris Wold, J., Fuels, Combustion and Furnaces, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc., New York, 1954.
- 5.- Mekler, L.A. and Fairall, R.S., Evaluation of Radiant Heat - Absorption Rates in Tubular Heaters, Petro-Chem Development Company, Incorporated.
- 6.- Mc. Adams, W.H., Heat Transmission, 3a. Edición, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc., New York, 1954.
- 7.- Kern, D.Q., Procesos de Transferencia de Calor, 1a. Ed., - Compañía Editorial Continental, S.A., Mexico, 1965.
- 8.- Peter Von Wiesental, Ingeniería Química, Año 4 Vol. 4, Noviembre 1959, Num. 40.
- 9.- Perry, J.H., Chemical Engineers' Handbook, 4a. Edición, Mc. Graw-Hill Book Co., New York, 1963.
- 10.- Hottel, Ind. Eng. Chem., 19, 888 (1927).
- 11.- Rickerman, J.H., Heater Designs for the Petroleum Industry, Trans, A.S.M.E. 531 (1945).
- 12.- Mekler, L.A., Process Design of Process Tubular Heaters, - Reprinted from the Transactions of the Asme for July, 1956.
- 13.- Heat Technology., Reprinted from Chemical Engineering, Junio 11, 1962.
- 14.- American Petroleum Institute, Standard 665 - Fired Heater - Data Sheet, 1966.

- 15.- Mekler, L. A., Mechanical Design of Process Tubular Heaters, Reprinted from Petroleum Engineer (1956)
- 16.- A.P.I., Guide for Inspection of Refinery Equipment, Second - Edition, 1967.
- 17.- Wimpres, R.N., Rating Fired Heaters, Hydrocarbon Processing & Petroleum Refiner, 42, p. 115 (1963).
- 18.- Norma 2.613.04 de Petróleos Mexicanos, 1970.
- 19.- Allen, R.G., Facts to Consider when Evaluating Stack Height, Power, Enero (1973).
- 20.- Gunder, P.F., How to Specify the Process Heater, Oil Gas - - Journal., Octubre 20, 1969, p. 73.
- 21.- Maker, F.L. How to Specify Process Heaters, Petroleum Refiner, Agosto 1959, p. 86.
- 22.- Ellwood P. and Danatos S., Process Heaters, Chemical Engineering, Abril 11, 1966, p. 151.
- 23.- Gunder, P.F., How to Specify Process Heaters and Evaluate - Bids, Hydrocarbon Processing, Oct. 1969, p. 117.
- 24.- Cockerl, Jr., L.C., How to Get Basic Heater Specs, Petroleum Refiner, Nov. 1955, p. 159.
- 25.- Wilson, D.W., W.E. Lobo, and H.C. Hottel, Heat Transmission in Radiant Sections of Tube Stills, Ind. Eng. Chem. 24, 486 (1932).
- 26.- Sittig, M., Fired Heaters for Petroleum Refining, Petroleum Refiner, Agosto 1949, p. 143.
- 27.- Campbell, O.F., Cylindrical Furnaces for the Petroleum Industry, Petroleum Refiner, Enero. 1950, p. 109.
- 28.- Buthod, P., Furnace Operation Variables, Petroleum Refiner, Agosto. 1951, p.77.

- 29.- Tesis, José Angel Pérez Avila, Estudio y Diseño de un Calentador a Fuego Directo.
- 30.- Comunicación Personal, Ing. Roberto Lara Moreno, Instituto - Mexicano del Petróleo.