

18



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

CAMPUS ACATLAN

"ESTIMACION DEL COSTO DE LA MODERNIZACION
ESTRUCTURAL DE UN CALENTADOR A FUEGO
DIRECTO EN UNA REFINERIA"

T E S I S

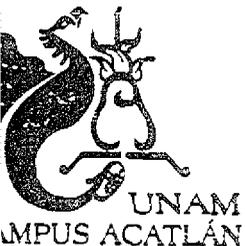
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

HECTOR EDUARDO PEREZ MARES

ASESOR: M.I. JOSE FRANCISCO PEREZ ARELLANO



ACATLAN, EDO. DE MEXICO



2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

HONORABLE JURADO:



PRESIDENTE: M.I. JOSÉ FRANCISCO PÉREZ ARELLANO (ASESOR)

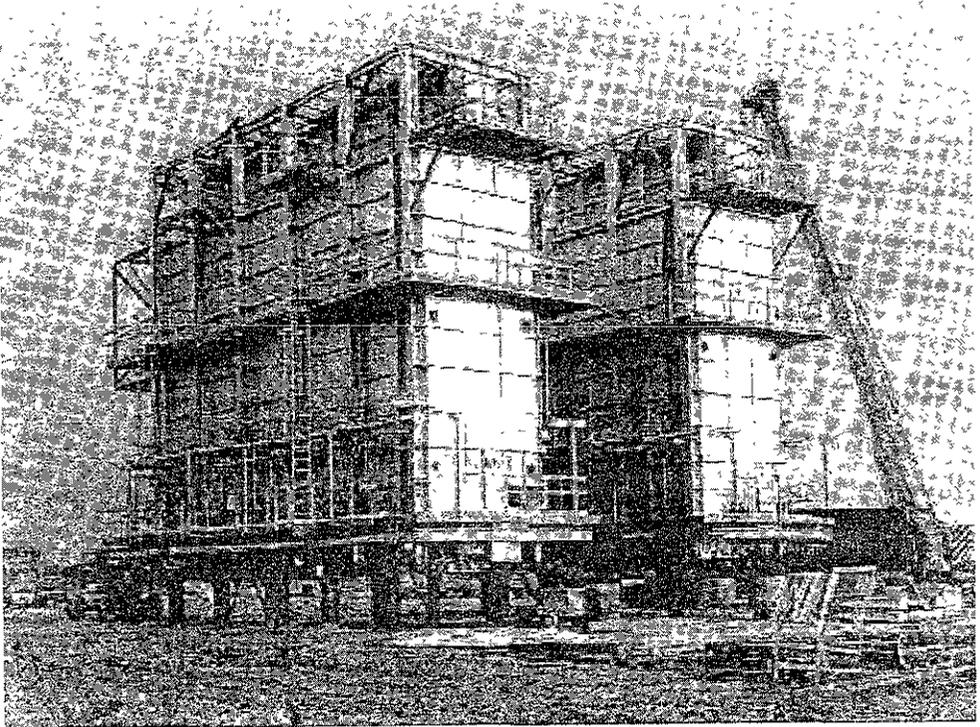
VOCAL: ING. LEONARDO ALVAREZ LEÓN

SECRETARIO: ING. ABEL ANGEL LÓPEZ MARTÍNEZ

SUPLENTE: ING. CARLOS ARCE LEÓN

SUPLENTE: M.I. ROLANDO REYES GRECO

***ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA
MODERNIZACIÓN
ESTRUCTURAL***



***DE UN CALENTADOR A FUEGO
DIRECTO EN UNA REFINERÍA***

DEDICATORIA

A mis Padres:

María de la Luz Mares Cárdenas
Eduardo Pérez Granados

A mi Abuela:

María Cárdenas Díaz

A mis Hermanos:

Víctor Hugo Pérez Mares
Judith Rosalba Pérez Mares

A mi Novia:

Marisol Sánchez Salazar

A G R A D E C I M I E N T O

Deseo expresar mi gratitud y admiración a todos aquellos quienes me han formado académica y profesionalmente, especialmente a la *Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Acatlan y al Instituto Mexicano del Petróleo (Dpto. de Diseño Mecánico Estructural de Equipos de Combustión)*

A Dios: *Por darme la oportunidad de ser y el tiempo para estar.*

A mis padres: *Piedra fundamental en mi existencia, ya que a través de la vida han sabido guiarme y aconsejarme ante las adversidades, con empeño y dedicación, han sabido impulsarme hasta llegar a culminar esta empresa, aún a costa de sacrificios y desaveniencias*

A mi Abuela: *Ya que gracias a sus consejos siempre he encontrado un camino para seguir adelante.*

A mis Hermanos: *Quienes me han apoyado a largo de mi vida con sus ideas y consejos.*

A mi Novia: *Por su gran apoyo, comprensión y ayuda que aligeró los momentos difíciles por los que atravesó esta empresa, y quien forma parte fundamental en mi vida.*

Al M.I. José Fco. Pérez Arellano: *Por haberme enseñado el significado real que tienen las estructuras.*

Por su gran paciencia para ordenar y revisar este trabajo.

A los Ingenieros del IMP (J. Diego Villanueva G. y Jorge Meza P.): *Por su amistad, dedicación, apoyo y entrega en el desarrollo de este trabajo.*

Al Ing. Alfredo Guzmán Guzmán: *Por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.*

A mis Amigos: *Gabriel, Juan Carlos, Oscar, Luis, Roberto, Carlos, Pedro Ambrosio, por enseñarme el valor que tiene una sincera amistad.*

A mis Maestros: *Por todas sus enseñanzas desinteresadas.*

C O N T E N I D O

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

- 1.1 Revisión de la literatura respecto a Calentadores a Fuego Directo.
- 1.2 Función e importancia de los Calentadores a Fuego Directo dentro de una planta de proceso (refinería)
- 1.3 Zonas Térmicas de un Calentador a Fuego Directo.
- 1.4 Clasificación de los Calentadores a Fuego Directo.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO TÍPICO

- 2.1 Descripción de los Calentadores a Fuego Directo.
- 2.2 Componentes que integran un Calentador a Fuego Directo.
- 2.3 Definición y características de los materiales refractarios aislantes.
- 2.4 Descripción estructural del Calentador a Fuego Directo Típico.

3. REVISIÓN DE LA NORMATIVIDAD VIGENTE CON RESPECTO A CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

- 3.1 Cargas gravitacionales de acuerdo al American National Standar Institute.
- 3.2 Cargas ocasionadas por sismo de acuerdo a Comisión Federal de Electricidad.
- 3.3 Cargas ocasionadas por viento de acuerdo a Comisión Federal de Electricidad.

4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO TÍPICO

- 4.1 Información requerida por el programa de análisis estructural *STAAD III*
 - 4.1.1 Configuración de la estructura.
 - 4.1.2 Propiedades de los materiales.
 - 4.1.3 Secciones y sus propiedades.
- 4.2 Aplicación de las acciones ocasionadas por cargas gravitacionales, sismo y viento.

5. DISEÑO DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO TÍPICO

- 5.1 Interpretación de los resultados obtenidos del programa.
- 5.2 Criterios de evaluación.
- 5.3 Revisión de los estados límite de servicio.

6. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA MODERNIZACIÓN ESTRUCTURAL

- 6.1 Justificación del costo que implicaría el no cambiar el equipo
- 6.2 Costo de actualización.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

En México, dentro de la industria petrolera, existe la refinación y la petroquímica, donde comúnmente se necesita suministrar calor a las corrientes de proceso con diversos fines; para lo cual surge la necesidad de crear diferentes equipos dentro de los cuales están los Calentadores a Fuego Directo, llamados así debido a que parte de la sección de calentamiento se localiza en la zona donde se genera la flama por efecto de la combustión de aceite o de gas.

Su función principal es la de calentar un fluido hasta elevadas temperaturas, el cual será requerido con esas condiciones en un proceso posterior. Esta función se realiza con el menor combustible posible, tratando de aprovechar la energía, para lo cual los calentadores cuentan con una geometría, un aislamiento, un arreglo y un tipo de quemadores adecuados.

El presente trabajo es con el fin de llevar a cabo una estimación del costo que implicaría la modernización estructural de un Calentador a Fuego Directo Típico dentro de una planta de proceso. Esto debido a que de acuerdo con la normatividad vigente muchos de estos equipos no cumplen satisfactoriamente con los lineamientos establecidos por los reglamentos actuales. Para lo cual se tomara un equipo típico dentro de una planta de proceso, el cual es denominado Calentador Atmosférico.

El análisis y diseño estructural del calentador se realizara conforme a las normatividades vigentes correspondientes con lo cual se deberá garantizar que el equipo cumpla con las condiciones de seguridad estructural adecuadas.

Para efecto del análisis estructural se utilizara el programa *STAAD III*, el cual se basa en la teoría del elemento finito.

Esta investigación se aplicara en la planta de proceso de la refinería de Salamanca, Gto. Obteniendo los resultados con los cuales se podrá efectuar una evaluación general y conocer cual seria el costo que representaría la modernización estructural y con ello garantizar con ello una estructura segura y rentable.

ANTECEDENTES

1.1 Revisión de la literatura en relación con lo que es un Calentador a Fuego Directo

La conservación de la energía no es un tema nuevo. El suceso económico que representa y algunos procesos competitivos requieren de un uso eficiente de la energía.

La energía consumida en un proceso químico típico de petróleo en las plantas verificadoras equivale al 75% la cual es quemada en forma de hidrocarburo como combustible en calentadores y hervidores de vapor. El estudio de la transferencia de calor ha sido primordial en la industria de la transformación para un mayor ahorro y mejor aprovechamiento de cualquier energético utilizado.

La conservación proporciona una fuerte y oportuna iniciativa para incrustarla en el criterio de diseño y construcción, rasgos que comúnmente se utilizan en Calentadores a Fuego Directo.

Los Calentadores a Fuegos Directo (figs. 1-1 y 1-2), son equipos que se componen de un conjunto de dispositivos en los cuales se libera el calor dentro de una cámara aislada y este es transferido al fluido que está contenido dentro de un serpentín tubular. Su principal función es producir el calentamiento del fluido de proceso hasta alcanzar temperaturas elevadas en los productos derivados del petróleo con el combustible suficiente, este último representa el insumo principal en los procesos de transformación de la energía, por lo tanto, es necesario su máximo rendimiento en condiciones de eficiencia de operación óptimas de ahí que los materiales refractarios aislantes ocupen un lugar de suma importancia para tal propósito.

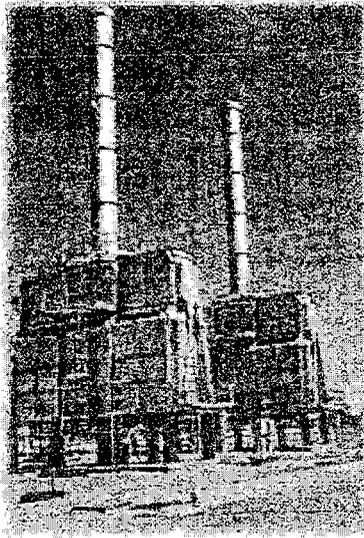


fig. 1-1

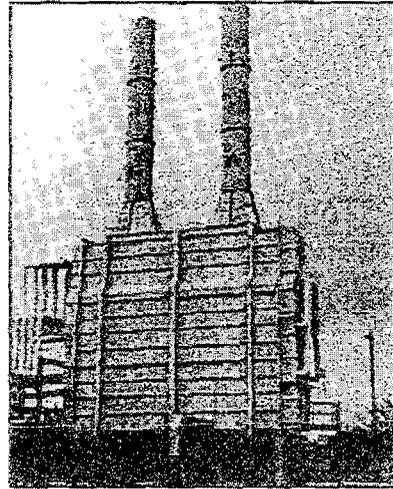


fig. 1-2

CAFD Rectangular-Horizontal CAFD c/doble chimenea

1.2 Función e importancia dentro de una planta de proceso

La función principal de un CAFD es la de suministrar una cantidad específica de calor con elevados niveles de temperatura al fluido de proceso, con el fin de que adquiera ciertas características específicas.

En un CAFD se libera calor por el quemado de algún combustible fósil dentro de una cámara aislada y éste es transferido a un fluido que está contenido en un serpentín tubular. Los tubos del serpentín están colocados en las paredes y techo de las cámaras de combustión, donde la transferencia de calor se da por radiación.

La importancia estriba en el hecho de que, en las plantas de la industria de la refinación y la petroquímica primaria (fig. 1-3), los equipos de combustión conocidos como Calentadores a Fuego Directo u hornos, son los principales

consumidores de energía; ya que consumen el equivalente al 75% de la energía demandada en un proceso.

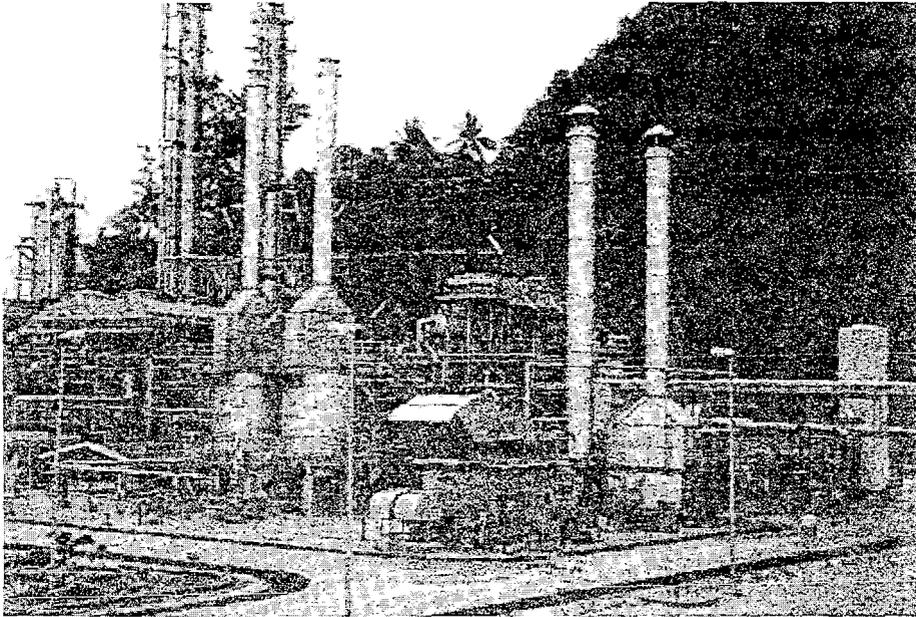


fig. 1-3 Planta de Refinación.

1.3 Zonas Térmicas de un Calentador a Fuego Directo

En el interior de un calentador a fuego directo, se presentan dos mecanismos de transferencia de calor los cuales se muestran en la fig. 1-4

1. Transferencia de calor por radiación.
2. Transferencia de calor por convección.

Radiación

El término radiación es generalmente aplicado a todas las clases de fenómenos de ondas electromagnéticas, pero en transferencia de calor únicamente son de interés los fenómenos que son resultado de la temperatura, a través de estos se establece un transporte de energía a un medio transparente o el espacio.

Convección

Es el intercambio de energía efectuado por el movimiento de un fluido donde se transfiere calor hacia un sólido. La convección puede ser forzada, cuando un agente externo tal como un ventilador o bomba origina el movimiento de un fluido a través de la superficie; y la convección libre se origina por los cambios de densidad en el fluido a consecuencia del intercambio de energía provocando una circulación natural de fluido.

En el mecanismo de transferencia de calor de los CAFD los componentes de mayor importancia son:

- a) La zona de Radiación.
- b) La zona de Convección
- c) La zona de Tubos Escudo

Zona de radiación.

Es el primer compartimento del equipo, en el cual el combustible es quemado para producir el calentamiento directo hacia las hileras de tubos que están colocadas generalmente a lo largo de las paredes y techo del calentador, en posición vertical u horizontal. En esta sección, el calor absorbido por el fluido de proceso es debido a radiación principalmente; dicho valor equivale al 70% aproximadamente del valor total de calor que tiene que absorber el fluido de proceso.

Zona de convección.

Con el objeto de aprovechar la energía térmica que poseen los gases de combustión al abandonar la zona de radiación, se instala un banco de tubos perpendicularmente a la dirección del flujo de gases, generándose un intercambio térmico por convección.

La zona de convección se utiliza como zona de precalentamiento del fluido que entra al CAFD, o para algún servicio adicional, como sería la producción de vapor de agua.

La mayor parte de los CAFD, utilizan en esta zona tubos aletados o birlados, con lo cual se tiene mayor superficie expuesta para la transmisión de calor, y por la tanto la eficiencia del equipo se incrementará, además, cabe mencionar que es en esta zona donde se colocan los sopladores de hollín, los cuales efectúan la limpieza de los tubos.

Zona de tubos escudo

Esta es la sección intermedia entre la zona de Radiación y la zona de Convección. La que se conoce como puente del calentador. La cual está constituida por dos o tres hileras de tubos desnudos colocados horizontalmente, expuestos a las más altas densidades de flujo térmico y se localizan en parte inferior de la zona de convección.

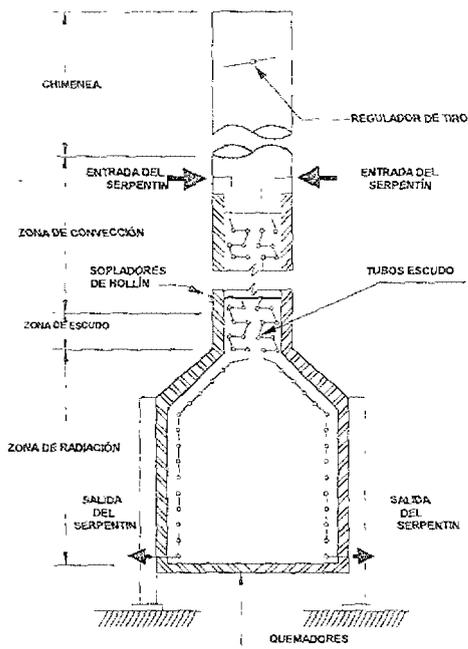


FIG.1-4 CÔRTE DE UN CALENTADOR A FUEGO DIRECTO
(ZONAS TÉRMICAS)

1.4 Clasificación de los Calentadores a Fuego Directo

Un Calentador incluye un número de dispositivos en los cuales se libera calor por el quemado de algún combustible fósil dentro de una cámara aislada y éste es transferido a un fluido que está contenido dentro de un serpentín tubular.

En un CAFD los tubos del serpentín están colocados a lo largo de las paredes y el techo de la cámara de combustión, es allí donde ocurre la transferencia de calor por radiación principalmente; estos equipos se conocen como Calentadores de Proceso, Hornos de Proceso y Calentadores a Fuego Directo, los cuales son intercambiadores de calor, como se muestra en las figuras.

El tamaño del calentador es definido en función de sus condiciones de diseño como es la capacidad de absorción de calor. Esta capacidad tiene un rango de 150 KW (500 KBTU/hr) que son los calentadores más pequeños, hasta unidades gigantescas de 150 MW (500 MBTU/hr) la cual contempla a hornos reformadores o generadores de vapor.

La mayoría de los Calentadores que se utilizan en la actualidad están dentro de rango de 3 a 150 MW (10.2 a 358 MBTU/hr) de la capacidad de absorción de calor.

De acuerdo a su servicio, esta clasificación contempla 6 categorías:

- o Rehervidor de columna
- o Precalentador fraccionador de alimentación
- o Precalentador reactor de alimentación
- o Calentador abastecedor de transferencia media
- o Calentador reductor de viscosidad
- o Reactor

Rehervidor de columna

Es normalmente considerado como una de las aplicaciones mas críticas de los Calentadores a Fuego Directo. La carga es transmitida a la columna de destilación ahí recircula el liquido que es parcialmente vaporizado en el Calentador.

El chorro de vapor-liquido mezclado vuelve a entrar a la columna, donde el vapor se condensa y es enviado al calor de vaporización. Las aplicaciones del rehervidor se caracterizan por las diferencias relativamente pequeñas de la temperatura del fluido entre la boquilla de entrada y la de salida del Calentador a Fuego Directo y por la vaporización substancial (comúnmente el 50% o más de la carga aplicada es vaporizada) Dependiendo de la aplicación particular las temperaturas en la boquilla de entrada del rehervidor oscilan de 400° F a 550° F.

Precaentador fraccionador de alimentación

Torre Fraccionadora: En los Calentadores a Fuego Directo este componente es el que se encarga de vigilar el buen servicio en muchos procesos de operación. La carga suministrada (que comúnmente es todo el líquido, aunque en algunas ocasiones requiere de una cantidad nominal de vapor para la admisión) es mandada al calentador siguiendo contracorriente en el equipo sin quemar.

En el Calentador la temperatura del fluido es altamente elevada con objeto de acabar de vaporizar parcialmente la carga suministrada. Un ejemplo típico de este tipo de servicio, es la alimentación del Calentador de destilación atmosférica de petróleo crudo en la refinación petrolera. Aquí el petróleo crudo entra al Calentador a 450° F y cuando sale tiene cerca de los 700° F con cerca del 60% de carga vaporizada.

Precaentador reactor de alimentación

La Calentadores en esta aplicación elevan la temperatura del petróleo a un nivel necesario para poder controlar la reacción química que tiene lugar en el conjunto de recipientes del reactor. La cantidad y tipo de carga suministrada al Calentador así como la temperatura de operación y la temperatura de presión pueden variar considerablemente, dependiendo del tipo de proceso. Los siguientes ejemplos ilustran las diversas aplicaciones del precaentador reactor de alimentación:

- ⇒ Monofásico-Componente simple. En este servicio realizado por el calentador la temperatura de entrada del fluido es de 100°F y la de salida 1500°F aproximadamente.
- ⇒ Monofásico-Componente compuesto: Aquí se produce un calentamiento semejante al calentamiento que se realiza con la vaporización de la mezcla de hidrocarburos y el gas hidrógeno reciclado previo al reformador catalítico en la refinería. En este servicio la carga suministrada entra al calentador a una temperatura de los 800° F y sale a 1000° F aproximadamente.

⇒ Multifásico-Componente compuesto: Produce un calentamiento semejante como el de la mezcla de hidrocarburos líquidos y gas hidrogeno reciclado. Las temperaturas del fluido corren de 700° F en la entrada, hasta 850° F en la salida. Su operación es con presiones cercanas a 3000 psi dependiendo del tipo de proceso.

Calentador Abastecedor de transferencia media

Muchas plantas equipadas con calentadores individuales cuentan con un canal intermedio de transferencia media. Un Calentador a Fuego Directo es generalmente empleado para elevar la temperatura en la recirculación media, que es típico en calentamiento de aceite. Los fluidos que siguen a través del calentador en este sistema casi siempre permanecen en la fase líquida desde la entrada hasta la salida.

Calentador reductor de viscosidad

Muchas veces el aceite pesado debe ser bombeado de un lugar a otro para procesarlo a bajas temperaturas donde el aceite tiene una alta viscosidad y donde es entregado por medio de bombeo, en este caso el calentador es utilizado para calentar el aceite reduciendo su viscosidad y facilitando con esto al sistema de bombeo.

Reactor

En esta categoría están los calentadores en los que la reacción química ocurre dentro de los tubos del serpentín. Las siguientes aplicaciones son típicas en la mayoría de las instalaciones.

⇒ Calentador de vapor reformador de hidrocarburo: en este caso los tubos de combustión cambian su función individual como recipientes de reacción vertical

con un soporte de níquel para el catalizador. En reformadores que ceden hidrogeno, la temperatura del fluido al salir tiene un rango de 1450° F a 1650° F.

⇒ Calentadores de pirólisis: se utilizan para producir olefina desde el suministro del gas, como el etano y el propano, así como el suministro de líquidos como la nafta y el gasóleo. La temperatura de salida del fluido en los calentadores diseñados para alimentar estos líquidos están en el rango de 1500° a 1650° F.

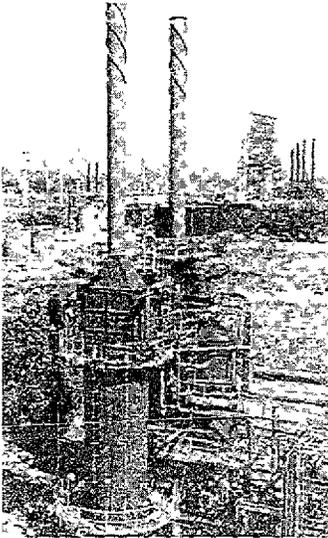


fig. 1-5

CAFD Cilíndrico-Vertical

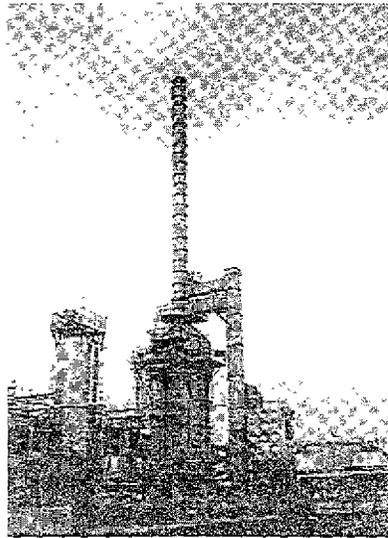


fig. 1-6

*CAFD Cilíndrico-Vertical
con Chimenea a piso*

En función de su geometría existen muchas variantes en el diseño, disposición y detalles de construcción de los CAFD. Esto es debido a que virtualmente cada calentador es diseñado para una aplicación particular. Sin embargo podemos hacer una clasificación principal de acuerdo a la orientación de los tubos del serpentín en la zona de radiación, la cual puede ser horizontal o vertical.

Los Calentadores a Fuego Directo se clasifican en dos grandes grupos:

- a) Calentadores Cilíndrico-Vertical (figs. 1-5 y 1-6.)
- b) Calentadores Rectangular-Horizontal (figs. 1-1 y 1-2)

a) Calentadores Cilíndrico-Vertical

En el caso de este tipo de CAFD el serpentín de tubos está dispuesto en forma vertical o helicoidal a lo largo de la zona de radiación, y su sección transversal es circular como se muestra en la fig. 1-7, por lo que dicha cámara debido a su orientación sirve de tiro disminuyendo la altura de la chimenea.

Los quemadores se colocan en el piso de la zona de radiación, orientando la flama verticalmente. En la zona de convección el arreglo del serpentín es horizontal, formando un banco de tubos colocados en la parte superior de la cámara de combustión donde proporciona un mayor aprovechamiento de la energía.

Este tipo de CAFD puede prescindir de esta zona adicional de calentamiento cuando el diseño requiere bajas eficiencias, lo cual representa un bajo costo en el equipo.

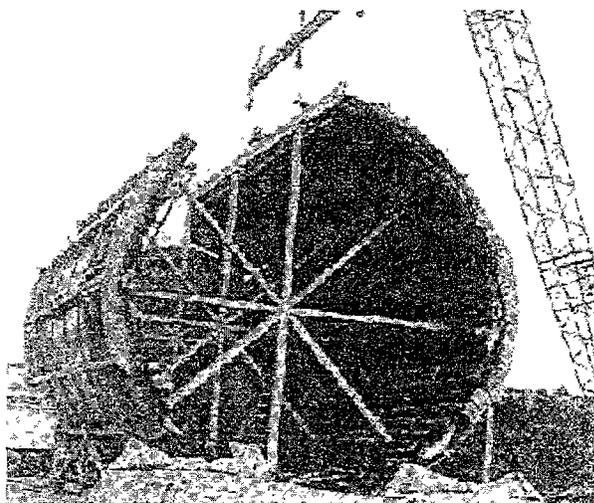


fig. 1-7 Sección de Radiación (CAFD Cilíndrico)

b) Calentadores Rectangular-Horizontal:

El serpentín de tubos en la zona de radiación tiene un arreglo horizontal a lo largo de las paredes laterales y el techo, así como horizontal o vertical al centro de la cámara de combustión; a la cual se le conoce como celda.

Su sección transversal es rectangular y normalmente los tubos son calentados verticalmente desde el piso y horizontalmente por quemadores montados en las paredes frontales y/o laterales fig. 1-8.

Al igual que los CAFD tipo cilíndrico-vertical, en la zona de convección la orientación del serpentín es horizontal, y debido a su rango de carga térmica siempre es justificable el uso de esta zona adicional.

TIPO DE CAFD	CARGA MINIMA	CARGA MAXIMA
Cilíndrico-Vertical	146 KW	58600 KW
Rectangular-Horizontal	300 KW	73500 KW

Dentro de los Calentadores a Fuego Directo del tipo Cilíndrico-Vertical existen algunas variantes en cuanto a los componentes que los integran como son los siguientes:

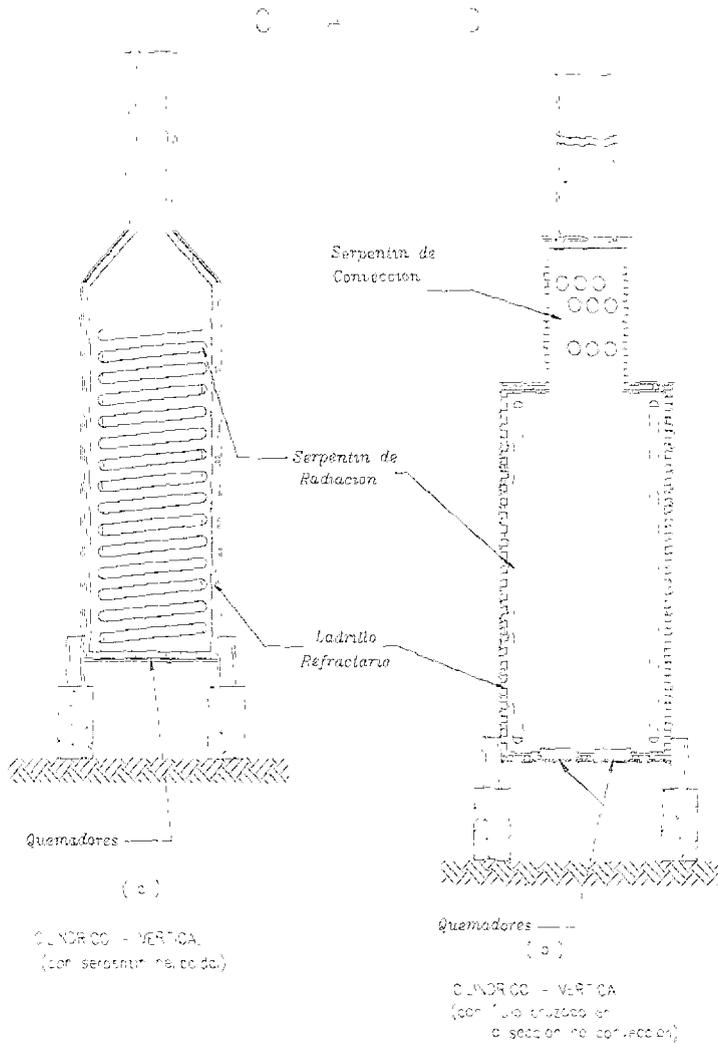


fig. 1-8 Cilíndrico-Vertical con serpentín helicoidal y con flujo cruzado en la sección de convección.

Para el caso de los Calentadores a Fuego Directo de tipo Rectangular-Horizontal podemos citar los siguientes equipos:

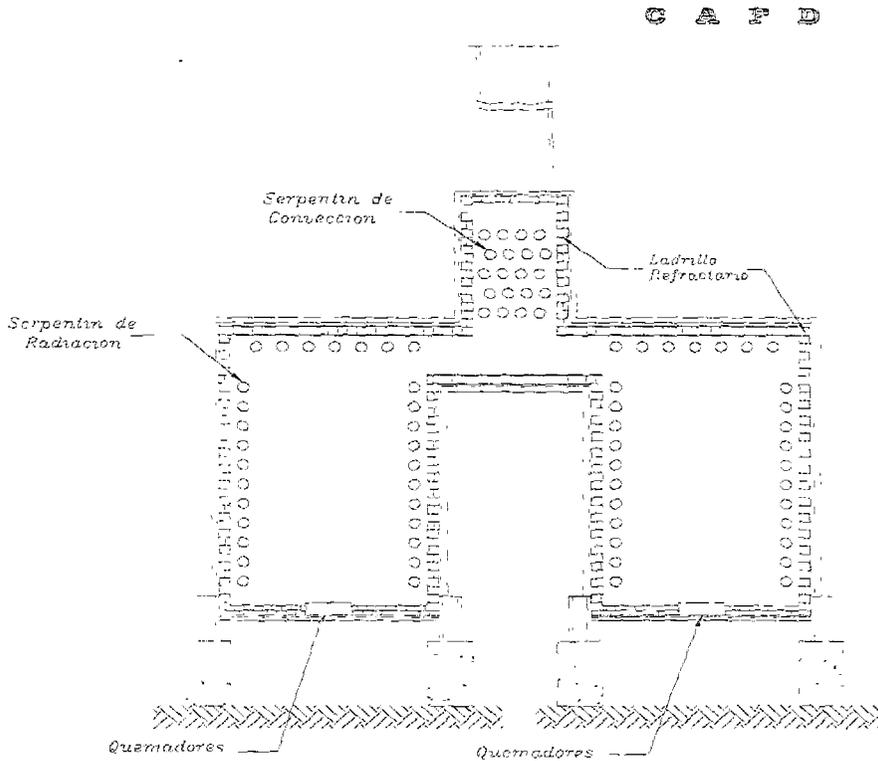


fig. 1-9 Rectangular-Horizontal de Doble Caja

C A F D

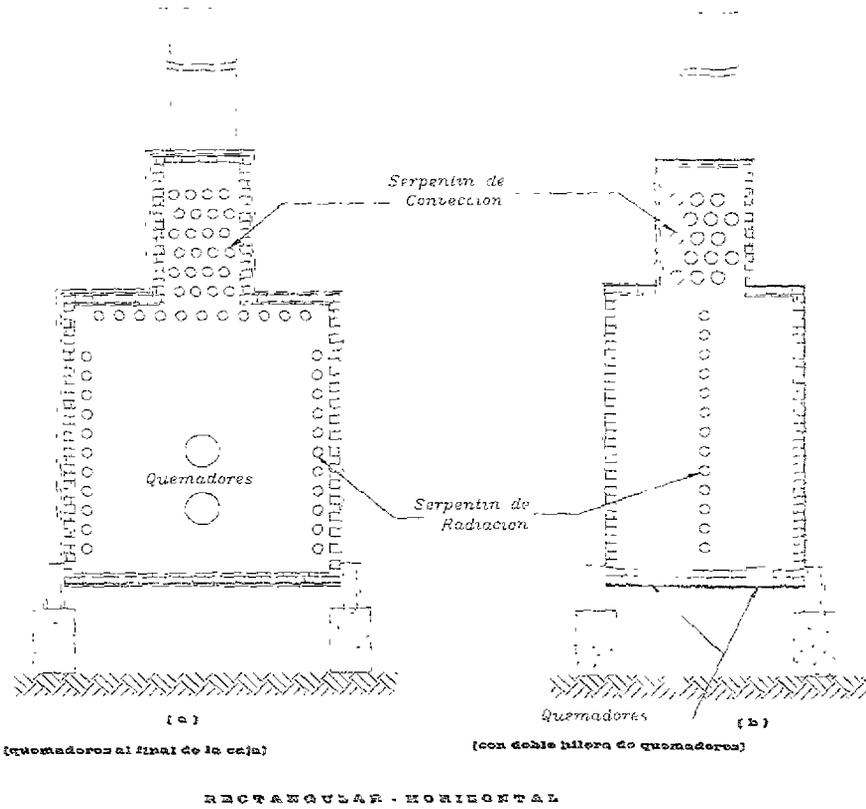


fig. 1-10 Rectangular-Horizontal de Cabina y Cabina con tornallamas

C A F D

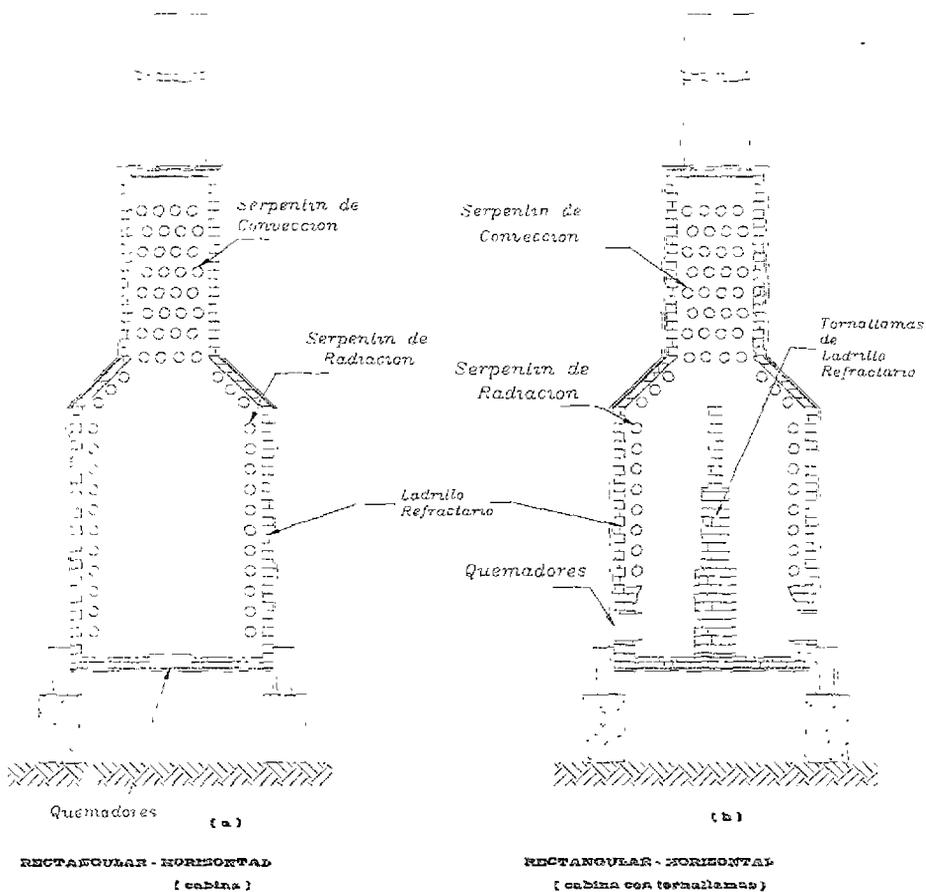


fig. 1-11 Rectangular-Horizontal de cabina y de cabina con tornallamas

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO TÍPICO

2.1 Descripción de los Calentadores a Fuego Directo

Un Calentador a Fuego Directo es un equipo de transferencia de calor cuya función es calentar el fluido de proceso que circula por su interior de los tubos, hasta que este alcance la temperatura requerida para su posterior alimentación a equipos adyacentes de refinación y/o Petroquímica.

La estructura de los Calentadores a Fuego Directo esta concebida como una envolvente metálica de forma de caja rectangular o de tipo cilíndrica (figs. 2-1, 2-2 y 2-3), en cuyo interior se encuentra dispuesto el serpentín de tubos por el cual circula el fluido; Así mismo se encuentra alojado el sistema de soporte, los materiales refractarios aislantes así como en algunas ocasiones parte del sistema de limpieza.

El término Calentadores a Fuego Directo se deriva de que parte del serpentín se encuentra localizado en la zona donde se genera la flama y la mayor parte del calor se transfiere por radiación.

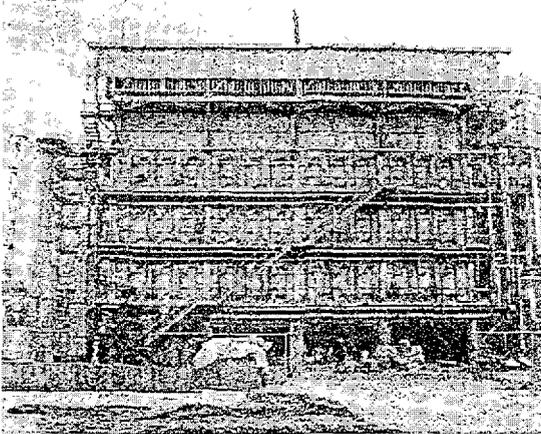


fig. 2-1 CAFD de Caja Rectangular

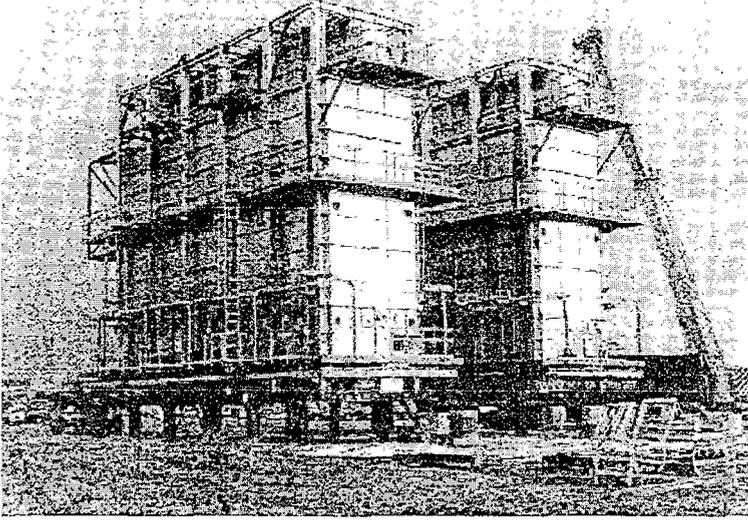


fig. 2-2 CAFD Doble Sección de Radiación

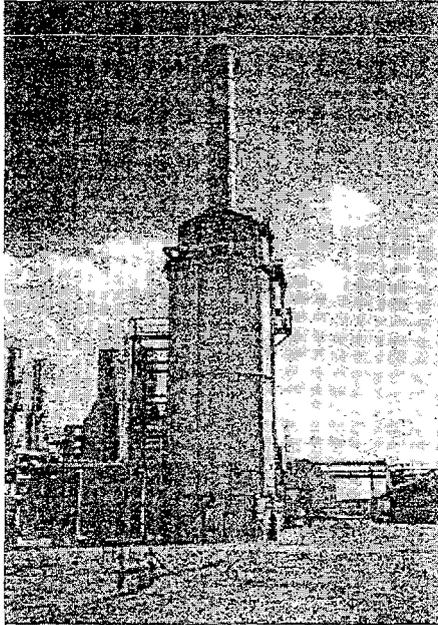


fig. 2-3 CAFD de Sección Cilíndrica

2.2 Componentes que integran un Calentador a Fuego Directo

Los componentes de un Calentador a Fuego Directo son los siguientes:

a) **Serpentín:** Es un conjunto de tubos a través de los cuales circula el fluido de proceso desde el cabezal (retorno) de entrada hasta el de salida del CAFD.

El serpentín es el componente más importante y más costoso del calentador. Los tubos están colocados en serie por medio de retornos o cabezales, los tubos instalados en la sección de radiación son lisos, generalmente de cédula 40 y 80 y en la sección de convección son de superficie extendida.

b) **Soportes de tubos:** Es el elemento mecánico utilizado para soportar los tubos del serpentín dentro del CAFD.

c) **Paredes:** Las paredes del CAFD están formadas en su parte exterior por una cubierta de acero y en su parte inferior por un material aislante refractario; los refractarios son definidos como materiales inorgánicos no metálicos como la cerámica, resistentes al calor y que proporciona a la estructura un revestimiento para soportar altas temperaturas, tienen la función de aislante porque son de muy baja conductividad térmica, estos pueden ser ladrillos y concretos incluyendo las fibras cerámicas.

Su finalidad es evitar el sobrecalentamiento de la estructura metálica de acero, mantener una temperatura constante en la sección de radiación y evitar que se presente el fenómeno de corrosión en la cubierta metálica del equipo cuando se quema un combustible que contiene azufre.

d) **Quemadores:** Un quemador está compuesto de un conjunto de accesorios que se mezclan en forma adecuada, cantidades específicas de aire y combustible en forma homogénea, provocando después que el combustible se quema a través de un proceso químico exotérmico estable, los quemadores se clasifican en:

1. Quemadores de combustóleo, que mezclan aire, combustóleo y vapor de atomización
 2. Quemadores de gas, que mezclan aire y gas
 3. Quemadores que combinan el manejo del combustóleo y gas
- e) Sopladores de Hollín: Su función es la de dirigir chorros de vapor hacia los tubos de superficie extendida, con la finalidad de eliminar el hollín depositado sobre éstos. Los sopladores de hollín se encuentran localizados a distintas alturas en la zona de convección y son tubos con orificios que cruzan de lado a lado a la misma zona.
- f) Ventiladores: Es la máquina que sirve para mover gases a través de ductos y otros equipos, relativamente a bajas presiones.
- g) Compuertas y Mamparas: Son dispositivos que se colocan generalmente dentro de ductos de gases de combustión y aire, permitiendo el paso de éstos y regulando su flujo.
- h) Chimenea: Es el conjunto que permite desalojar a la atmósfera, los productos de la combustión, además de proveer el jalón o tiro suficiente para mantener circulando el aire, y gases a través del calentador y la propia chimenea.
- i) Estructura o Envoltente: Es la cubierta metálica usada para encerrar al CAFD. Todas las cargas de los tubos y cabezales será soportada por la estructura de acero y no por el refractario.
- j) Instrumentación: Es el equipo controlador e indicador de las condiciones de operación de un CAFD tales como; registradores, controladores, termopares, indicadores de presión, circuitos de paro por emergencia, indicadores de flujo de combustible de energía eléctrica y vapor.

2.3 Definición y características de los materiales refractarios aislantes

En principio se utilizaron las piedras naturales como refractario hasta que hubo la necesidad de llevar a cabo un proceso artificial para su elaboración, el cual se

hizo mediante la combinación de diferentes materiales para crear piedras artificiales llamadas ladrillos que fueron los primeros refractarios de fabricación.

Con el tiempo se fueron determinando las propiedades refractarias de materiales como la sílica y por el año de 1850 se inició la fabricación de sílica. Para el año de 1880 y con el uso de convertidoras para la fabricación de acero, se empezaron a utilizar ladrillos de magnesita y mineral de cromo, que resultaron muy resistentes al ataque químico de las escorias básicas y fueron conocidos como ladrillos básicos.

Un refractario estable a elevadas temperaturas, sin experimentar cambios físicos y químicos, empleados para contener la energía a través de su superficie. A los materiales refractarios se les abate la densidad con el propósito de darles características aislantes, sin perder su estabilidad física y química a temperaturas altas. *La mayoría de los materiales cerámicos puros de alto punto de fusión se clasifican como materiales refractarios.*

Actualmente los materiales refractarios tiene la siguiente presentación:

- a) Ladrillos: Son piezas preformadas listas para usarse.
- b) Morteros: Son materiales refractarios finamente molidos, en pasta o en polvo, que se usan para pegar ladrillos refractarios.
- c) Concretos: Son mezclas de materiales refractarios y aglutinantes hidráulicos que permiten efectuar revestimientos monolíticos en lugar de uso por colado de concreto.
- d) Plásticos y apizonables: Son materiales especialmente preparados para poder efectuar su instalación. Los plásticos son masas para instalarse mediante apizonado y formar así revestimiento, una de sus características más importantes es la moldeabilidad.

e) Fibra cerámica: Es un material sintético, amorfo, producido a partir de la alúmina y silica de alta calidad y en la proporción adecuada, bajo condiciones altamente controladas.

2.3.1 Propiedades

Las propiedades más importantes que se deben considerar en el diseño y selección de los materiales refractarios aislantes son los siguientes:

- a) Punto de fusión
- b) Rango de temperatura de servicio
- c) Capacidad de deformación bajo la carga en caliente
- d) Choque térmico y disgregación
- e) Resistencia a la penetración de metales fundidos
- f) Expansión y contracción
- g) Pérdida y almacenamiento de calor

2.3.2 Descripción de instalación de material refractario y anclaje

Ladrillos: Un ladrillo poroso producido por la mezcla de aserrín y lata alúmina combinadas con excelente resistencia estructural, tiene buenas características de aislante térmico. Los muros son sujetados por ángulos de acero colocados horizontalmente, los cuales reciben el nombre de *Anclas* (fig 2-4).

Otro método de sujeción es por medio de tirantes de acero ancladas a la placa de acero exterior del calentador, a través de las perforaciones prediseñadas en los ladrillos a intervalos equidistantes en el área del muro. Usualmente puede aplicarse el acuñaamiento en ladrillo, lo cuál se efectúa cuando el ladrillo es usado

en las curvaturas de los muros. Estos métodos se pueden eliminar con el respaldo de ganchos y tirantes.

Es común utilizar un respaldo de block aislante de lana mineral para mejorar la calidad de aislamiento en los muros de ladrillo aislante refractario, el block es aceptado como un estándar en la instalación para una alta temperatura en CAFD.

Fibras cerámicas: El reciente desarrollo de materiales de aislamiento para CAFD, el avance tecnológico en procesos de manufactura en fibras cerámicas donde se mejoran las propiedades mecánicas y térmicas como resistencia a la abrasión, resistencia al choque térmico y disgregación son utilizadas con éxito en calentadores.

Para que tengan su efecto las propiedades de la fibras cerámicas se humedecen con aceite y agua, éste proceso se completa cuando es secado el material; los productos hechos de fibra cerámica tienen un alto porcentaje de fibras entretejidas.

La fibra cerámica es más porosa que el concreto aislante, esto es para prevenir la protección del revenimiento interno en la cubierta de la placa y para prevenir la corrosión.

Otra ventaja disponible para la operación son los procedimientos especiales como el curado, secado o precaución con agua fría.

La instalación de fibra cerámica no podría ser empleada en la sección de convección ya que se quemaría con el tizne o el lanzamiento de gases de combustión.

La función básica del sistema de anclaje en el recubrimiento es para sostener el material en una posición estable y amoldarse a la estructura, ayuda a neutralizar los esfuerzos cíclicos (desgaste) y térmicos (disgregación) en el material y la vibración mecánica.

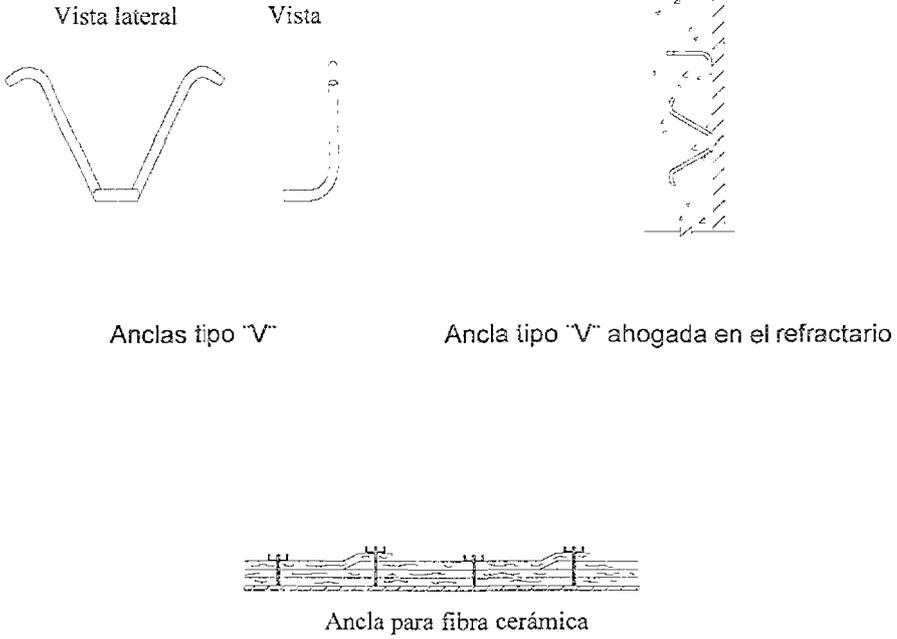


fig. 2-4 Tipos de Anclajes para Refractarios

2.4 Descripción estructural del Calentador a Fuego Directo Típico

El Calentador a Fuego Directo que se estudia en esta investigación es del tipo atmosférico, este equipo es el más común dentro de una refinería, ya que por su gran tamaño y capacidad es un elemento indispensable para llevar a cabo el proceso de transformación de los productos derivados del petróleo.

El Calentador atmosférico cuenta con una longitud de 21031.2 mm; una altura de 15246.35mm (Radiación), y una altura de 8042.28 mm (Convección), y 8607 mm de ancho.

El Calentador se conforma estructuralmente de perfiles W, canales C y MC, ángulos LI, LD, así como de placas.

Las columnas están apoyadas sobre dados de concreto los cuales a su vez se encuentran empotrados en el estrato resistente.

Las siguientes figuras (2-5, 2-6, 2-7, 2-8, 2-9, 2-10, 2-11) muestran las diferentes vistas del Calentador; así como sus descripciones y dimensiones (mm.) correspondientes:

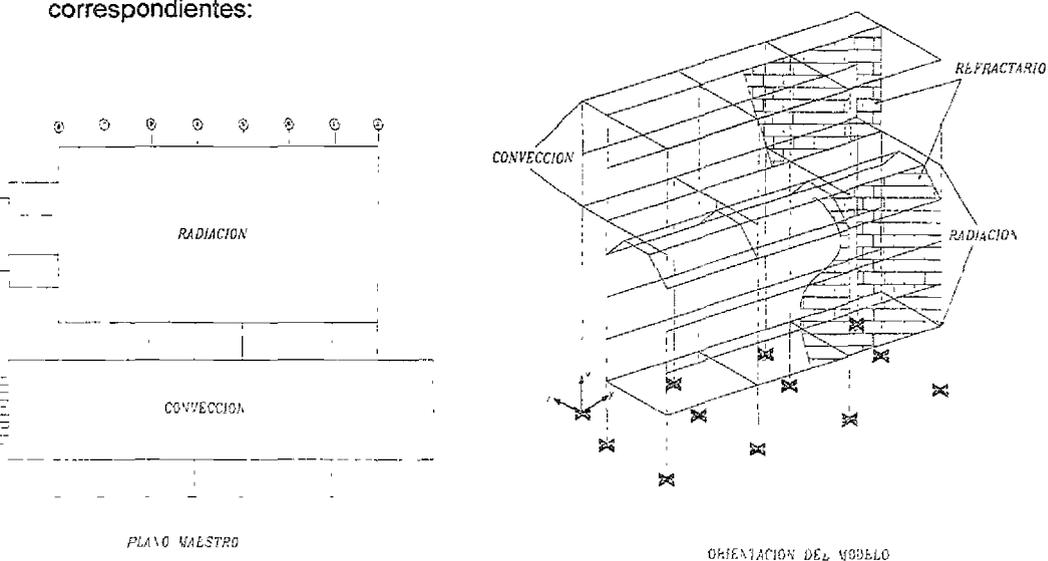


fig. 2-5 Descripción General

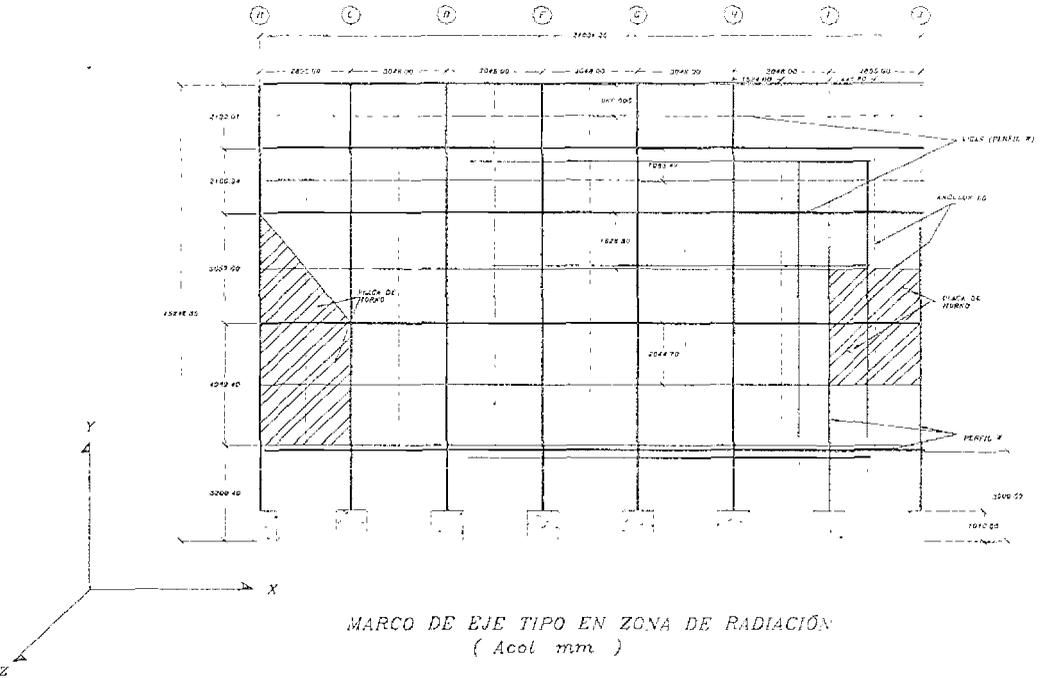


fig. 2-7 Elevación del marco s/modernizar

En esta figura se muestra la cara lateral del Calentador, la cual está estructurada de perfiles y placas, los tubos del serpentín se encuentran dispuestos en forma perpendicular a las columnas del Calentador (en dirección de las vigas).

En esta vista se observa como se encuentra originalmente estructurado el Calentador, y basándose este diseño se propondrá la modernización estructural adecuada para que el equipo cumpla con los lineamientos establecidos en los reglamentos vigentes.

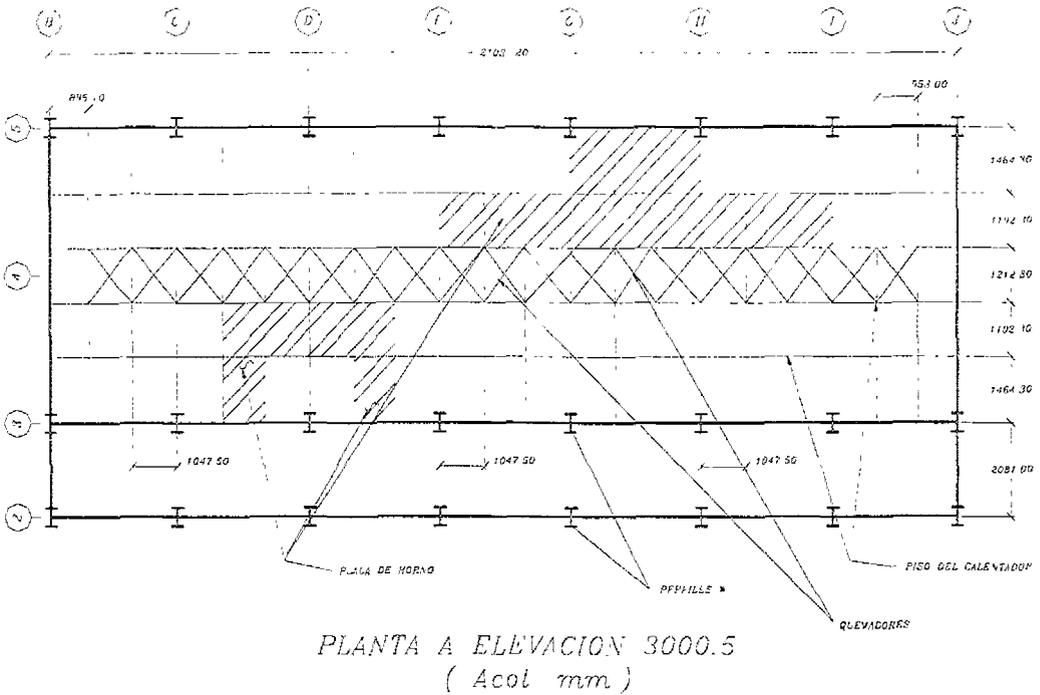
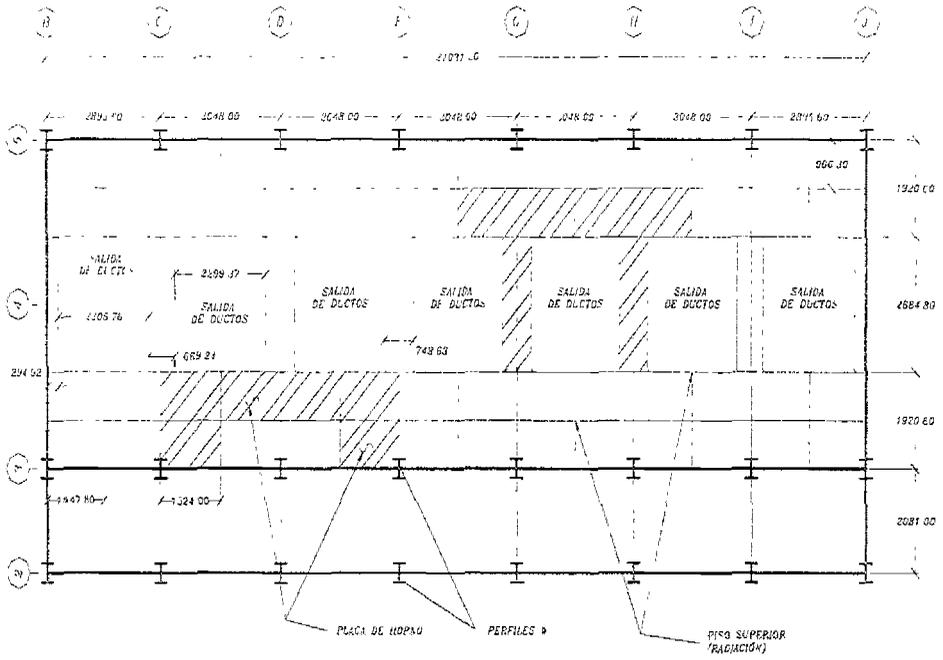


fig. 2-7 Piso del CAFD y ubicación de quemadores

Este es el esquema de lo que es el piso del Calentador el cual está estructurado de perfiles W, ángulos LI, LD y perfiles C así como de placa de 3/8" de espesor. En esta superficie se encuentran colocados los quemadores que suministran el calor necesario a los tubos del serpentín por los que circula el fluido de proceso.

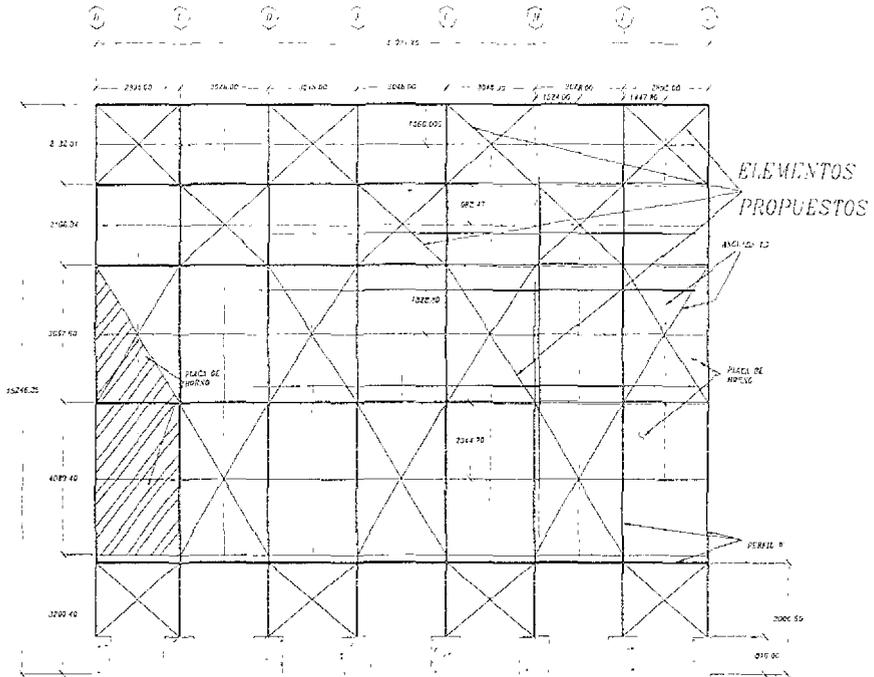


PLANTA A ELEVACION 15246 35
(Acot. mm.)

fig. 2-8 Vista Superior del CAFD y salida de ductos

Esta figura muestra como se encuentra estructurada la parte superior de la zona de radiación, donde se ubican las salidas de los ductos por donde circulan los gases, los cuales pasan a la zona de convección y de ahí son expulsados hacia la chimenea.

Esta parte está estructurada por perfiles W, ángulos LI, LD, perfiles C y placa de 3/8" de espesor.



MARCO DE EJE TIPO EN ZONA DE RADIACIÓN
(Acol mm)

fig. 2-9 Elevación del marco c/elementos propuestos

Esta figura muestra cual es la configuración estructural de la modernización propuesta la cual consiste básicamente en implementar contraventeos en las caras laterales del Calentador y así incrementar su rigidez estructural como disminuir los desplazamientos laterales de la estructura, estos contraventeos son ángulos LD.

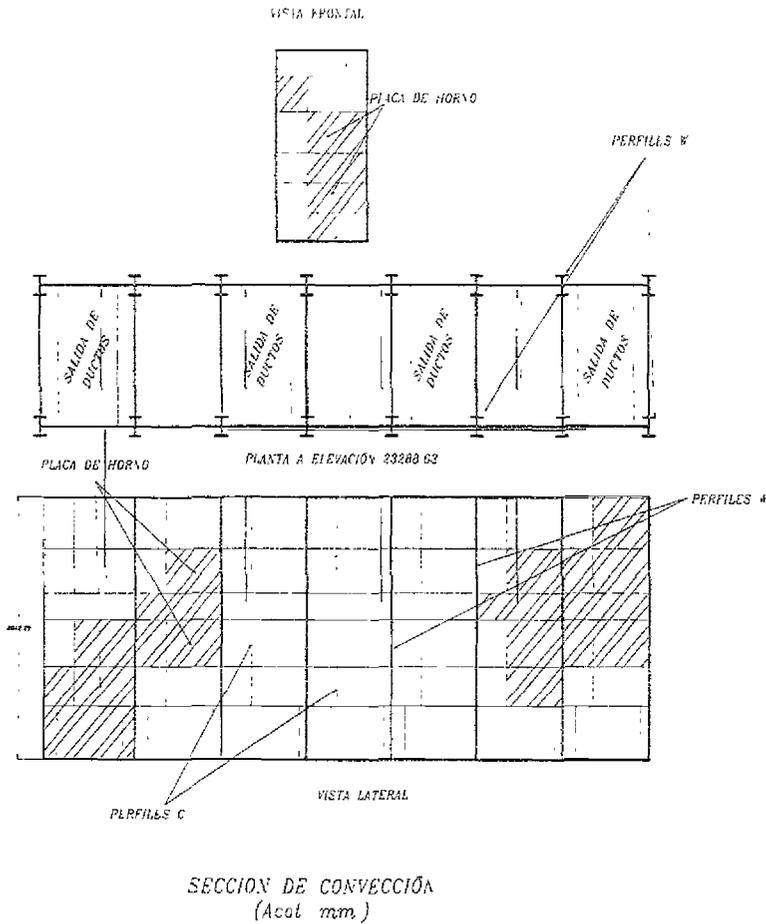


fig. 2-11 Zona de convección del CAFD

Esta figura muestra la sección de convección la cual aloja los gases que provienen de la sección de radiación, y posteriormente esos gases son expulsados hacia la chimenea a través de los ductos que se encuentran en la parte superior. Esta sección está estructurada por perfiles W, y perfiles C, así como placa de $\frac{1}{4}$ " de espesor.

REVISIÓN DE LA NORMATIVIDAD VIGENTE CON RESPECTO A CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

3.1 Cargas gravitacionales de acuerdo al American National Standard Institute

La finalidad de una estructura, del tipo que sea, es la de soportar cargas (tanto propias, como actuantes), para luego transmitir las a la cimentación y esta a su vez al suelo. Para tales efectos es necesario tener en cuenta las magnitudes de las cargas actuantes, para que de esta manera se proceda a realizar el análisis estructural correspondiente, partiendo de un modelo (Diagrama de cuerpo libre) en el que en primer lugar se consideran las cargas gravitacionales que sobre ella actúan; para que posteriormente se analice en combinación con las sollicitaciones a que este sujeta; de acuerdo con las especificaciones señaladas por el diseñador, las características del proyecto y con las condiciones que presente el terreno donde se desplantará, tanto climáticas, geológicas y sismoológicas.

El primer paso del análisis estructural en una estructura es la bajada de cargas, en función de la cual quedaran definidos y distribuidos los elementos mecánicos en los miembros o elementos estructurales.

En este caso para llevar a cabo el estudio del análisis estructural del calentador a fuego directo atmosférico, este se divide en dos zonas que son, radiación y convección, estas a su vez involucran en su composición a una serie de elementos que juntos logran llevar a cabo el servicio para el cual fueron diseñadas.

Los pesos totales que deben considerarse para cada zona son los siguientes:

Zona de Radiación

- Peso del refractario
- Peso de tubos con codos y retornos
- Peso de placa
- Peso de la estructura
- Peso de las plataformas
- Carga viva en plataformas
- Peso de los quemadores

Zona de Convección

- Peso de refractario
- Peso de tubos con codos y retornos
- Peso de placa
- Peso de la estructura
- Peso de las plataformas
- Carga viva en las plataformas

Una vez obtenidos todos los pesos se distribuyen las cargas en los elementos estructurales con lo cual se obtendrá la bajada de cargas gravitacionales.

El manual American National Standar Institute proporciona las especificaciones de cargas mínimas para el diseño de edificios y otras estructuras.

Las cargas especificadas aquí son aceptables para su uso con los factores de esfuerzo y carga especificados en diseños comunes para concreto, acero, madera, mampostería y cualquier otro material estructural convencional utilizado en construcciones.

Requerimientos Básicos:

- Seguridad: Edificios u otras estructuras y todas sus partes, serán diseñadas y construidas para soportar con seguridad todas las cargas, incluyendo las cargas muertas, sin que excedan los esfuerzos permisibles (o esfuerzos especificados cuando los factores de carga son aplicados apropiadamente) para los materiales de construcción, los miembros estructurales y conexiones.
- Funcionalidad: Los sistemas estructurales y sus componentes serán diseñados para tener una adecuada rigidez para limitar las deformaciones transversales, desplazamientos laterales, vibraciones o cualquier otra deformación que pueda afectar desfavorablemente la funcionalidad de un edificio o estructura.
- Análisis: Los efectos de carga en componentes individuales y conexiones se determinarán mediante los métodos de análisis estructural de equilibrio, compatibilidad geométrica y las propiedades con las que se cuenta. Miembros que tienden a acumular deformaciones residuales bajo repetidas cargas de servicio, se tendrán que incluir en este análisis.

Clasificación del Calentador a Fuego Directo según el American National Standard Institute

El Calentador se clasifica dentro de la categoría III, ya que dentro de ella se encuentran localizadas todas las estructuras que durante algún desastre o emergencia su funcionamiento sea de vital importancia.

Cargas Muertas

Las cargas muertas comprenden todo el peso de la construcción permanente incluyendo muros, pisos, vigas, escaleras y equipos fijos de servicio.

- Pesos de materiales y construcciones. En pesos muertos estimados para propuestas de diseño se utilizará el actual peso de los materiales y

construcciones, en caso de que se presente la ausencia de información definitiva sobre los valores satisfactorios, estos se tomarán en base con la autoridad competente.

- **Peso de equipos fijos de servicio:** En cargas muertas estimadas para propósito de diseño el peso de equipos fijos de servicio tales como, plomería, instalaciones eléctricas y elevadores, calefacción y sistemas de aire acondicionado, serán incluidas donde sea siempre y cuando sean soportados por los miembros estructurales.
- **Consideraciones especiales:** Los ingenieros, arquitectos y dueños de edificios serán informados para considerar los factores que puedan resultar entre la diferencia de la carga actual y la calculada.

Cargas vivas

Las cargas vivas son aquellas producidas por el uso y ocupantes de la estructura y no incluye cargas ambientales tales como la carga del viento, nieve, lluvia, sismo, Las cargas vivas en un techo son aquellas producidas: Durante el mantenimiento por trabajadores, equipo y materiales, durante la vida de la estructura por objetos movibles tales como muebles y personas

La carga viva mínima distribuida (L_o) de acuerdo al tipo de estructura es de 250 kg/m².

Cargas uniformemente distribuidas para CAFD

- **Cargas vivas requeridas:** Las cargas vivas consideradas en el diseño de calentadores serán las cargas máximas probables a ser producidas de acuerdo al tipo de calentador. Para tal efecto se tomará como mínimo el valor que señala este reglamento que es de 250 kg/m².

➤ Presiones en barandales: Los barandales de escaleras y balcones exteriores e interiores serán diseñados para resistir una presión simultánea vertical y horizontal de 50 kg/m aplicado en la parte superior del barandal.

Reducción de cargas vivas para CAFD

Los miembros tendrán una área de influencia según sean diseñados, para la reducción de las cargas vivas se utilizará la siguiente expresión:

$$L = L_0 \left(0.25 + \frac{15}{\sqrt{A_1}} \right) \quad (1)$$

Donde: L = Carga viva reducida de diseño soportada por el miembro.

L_0 = Carga viva de diseño sin reducir.

A = Área de influencia (ft²)

3.2 Cargas ocasionadas por sismo de acuerdo a Comisión Federal de Electricidad

La naturaleza del fenómeno sísmico implica que los temblores futuros se pueden describir sólo en términos probabilistas. En vista de que es imposible acotar dentro de los límites prácticos la máxima intensidad sísmica que puede ocurrir en un lugar dado, en la elección de del temblor de diseño debe considerarse explícitamente la probabilidad de que su intensidad se exceda cuando menos una vez durante la vida útil supuesta para la estructura. En consecuencia, si se supone que su resistencia es determinista e igual a la de diseño, la estructura tiene una probabilidad de falla que es igual a la de que se exceda la intensidad de diseño.

Aún la recomendación más conservadora no suministraría una protección absoluta contra el temblor más intenso que pudiera ocurrir, ni parece haber dentro de un rango práctico tal límite superior. Por lo que los criterios de diseño sísmico

se fundamentan en la admisión de la probabilidad de colapso de toda la estructura, por remoto que se considere el fenómeno, lo que conduce a que unas estructuras han de protegerse contra el colapso en mayor grado que otras de acuerdo a su importancia.

Las solicitaciones de diseño también dependen del sistema estructural, de los elementos y materiales de la estructura y de los detalles de diseño y construcción, los cuales determinan la forma de falla. Es conveniente considerar estos aspectos estructurales mediante dos conceptos:

- Las características estructurales para soportar cargas sísmicas.
- La capacidad para disipar energía por comportamiento inelástico a través del desarrollo de deformaciones en los intervalos no lineales de las curvas carga-deformación. Esta forma de tener en cuenta los aspectos estructurales lleva a caracterizar las estructuras en función de su estructuración misma, por un lado, y de su ductilidad, por otro.

Clasificación de lo CAFD según su destino

Atendiendo a la seguridad estructural aconsejable para el tipo de estructura, está se clasifica dentro del grupo A que establece el reglamento de Comisión Federal de Electricidad.

GRUPO A

Estructuras en que se requiere un grado de seguridad alto. Construcciones cuya falla estructural causaría la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas o culturales de magnitud excepcionalmente alta, o que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o inflamables; así como construcciones cuyo funcionamiento sea esencial a raíz de un sismo. Tal es el caso de puentes principales, sistemas de abastecimiento de agua potable,

subestaciones eléctricas, centrales telefónicas, estaciones de bomberos, archivos y registros públicos, monumentos, museos, hospitales, escuelas, estadios, templos, terminales de transporte, salas de espectáculos y hoteles que tengan áreas de reunión que puedan alojar un número elevado de personas, gasolineras, depósito de sustancias inflamables o tóxicas y locales que alojen equipo especialmente costoso.

Se incluyen también todas aquellas estructuras de plantas de generación de energía eléctrica cuya falla por movimiento sísmico pondría en peligro la operación de la planta, así como las estructuras para la transmisión y distribución de energía eléctrica.

Clasificación de los CAFD según su estructuración

Basándose en las características estructurales que influyen en la respuesta sísmica de la estructura, los calentadores pertenecen al siguiente tipo:

TIPO 6

Estructuras Industriales: Estructuras fabriles en que se requieren grandes áreas libres de columnas y donde se permite casi siempre colocar columnas relativamente cercanas unas de las otras a lo largo de los ejes longitudinales, dejando entonces grandes claros libres entre esos ejes.

Estas estructuras están formadas en la mayoría de los casos por una sucesión de marcos rígidos transversales, todos iguales o muy parecidos, ligados entre sí por los elementos de contraventeo que soportan los largueros para la cubierta y los recubrimientos de las paredes.

Factor de Comportamiento sísmico

Es impráctico pretender que las estructuras resistan los grandes temblores sin rebasar su intervalo de comportamiento elástico. Por ello en la clasificación de las construcciones según su estructuración se ha tenido en cuenta explícitamente la ductilidad de las estructuras, separada de la estructuración misma.

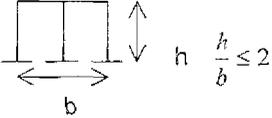
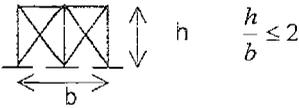
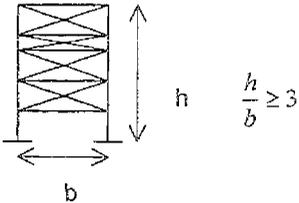
La manera de caracterizar las estructuras de acuerdo con su capacidad para absorber energía es por medio del *factor de comportamiento sísmico* Q , el cual no solo depende de la estructuración y ductilidad sino también refleja reservas en capacidad estructural que actualmente no se pueden considerar explícitamente.

A continuación se comentan los valores recomendados de factor de comportamiento sísmico para las estructuras del *tipo 6* dentro de las cuales se encuentra ubicado el calentador a fuego directo:

Tipo 6: Se carece de resultados teóricos y experimentales que permitan recomendar valores adecuados del factor de comportamiento sísmico para la gran variedad de estructuras industriales existentes.

En la tabla 3-1 se presentan valores representativos de ξ para este tipo de estructuras, siendo ξ un factor reductivo que depende del amortiguamiento de la estructura.

TABLA 3-1 VALORES REPRESENTATIVOS DE $\xi/\%$

ESTRUCTURACIÓN	$\xi = 1.0$	$\xi = 0.9$	$\xi = 0.8$
 $h \quad \frac{h}{b} \leq 2$	0.27	0.24	0.22
 $h \quad \frac{h}{b} \leq 2$	0.33	0.29	0.27
 $h \quad \frac{h}{b} \geq 3$	0.44	0.40	0.36
VALORES REPRESENTATIVOS DE $\xi/\%$			

Factor reductivo por ductilidad

Para fines de diseño será necesario tener en cuenta el comportamiento inelástico de la estructura, aunque sea de manera aproximada. Para ello las ordenadas espectrales se podrán reducir dividiéndolas entre el factor reductivo Q' a fin de obtener las fuerzas sísmicas reducidas por ductilidad.

El factor reductivo se calculará de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} Q' &= 1 + (Q - 1) \frac{T}{T_a} & ; & \quad \text{si } T < T_a \\ Q' &= Q & ; & \quad \text{si } T > T_a \end{aligned} \quad (2)$$

Donde T se tomará como el periodo fundamental de vibración cuando se emplee el análisis estático e igual al periodo natural de vibración cuando se emplee el análisis modal espectral; T_a es el primer periodo característico del espectro de diseño.

Regionalización sísmica de la República Mexicana

Con base en estudios realizados sobre riesgo sísmico, se encontró que para fines de diseño sísmico la República Mexicana se considera dividida en cuatro zonas como se muestra en la figura 3-1:

Las fronteras entre las zonas coinciden con curvas de igual aceleración máxima del terreno; la zona A es la de menor intensidad sísmica, mientras que la de mayor es la zona D.

Los valores de los diferentes parámetros que se utilizan para el diseño se muestran en la tabla 3-2, para las diferentes zonas sísmicas y los distintos tipos de terreno de cimentación.

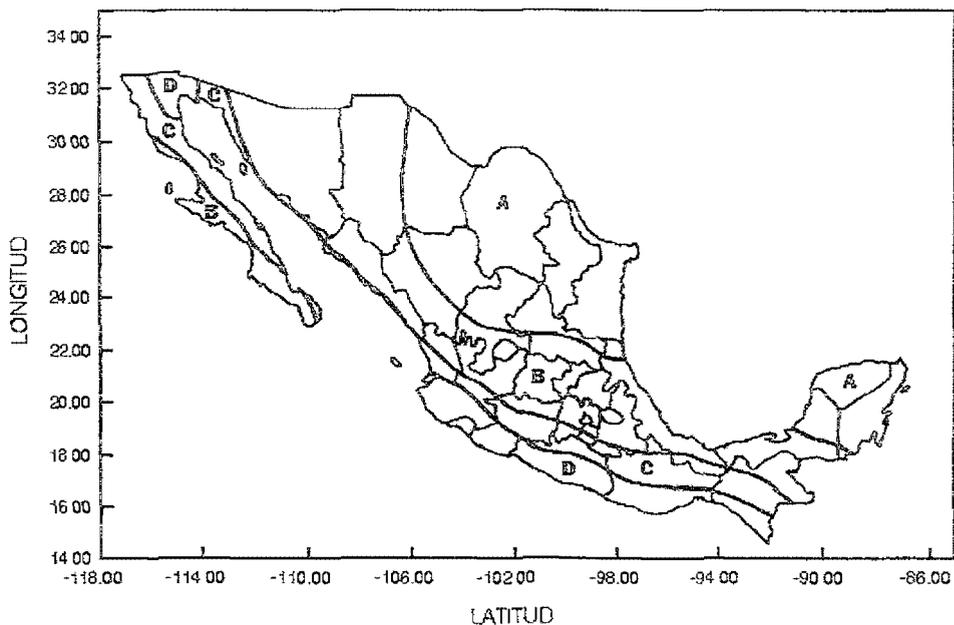


fig. 3-1 ZONIFICACIÓN SISMICA DE LA REP. MEXICANA

TABLA 3-2 PARÁMETROS DE DISEÑO SISMÍCO

ZONA SISMICA	TIPO DE SUELO	a_0	c	T_a (s)	T_b (s)	r
A	I	0.02	0.12	0.2	0.6	$\frac{1}{2}$
	II	0.04	0.24	0.3	1.5	$\frac{2}{3}$
	III	0.05	0.30	0.5	2.9	1
B	I	0.04	0.21	0.2	0.6	$\frac{1}{2}$
	II	0.08	0.45	0.3	1.5	$\frac{2}{3}$
	III	0.10	0.54	0.6	2.9	1
C	I	0.36	0.54	0.0	0.6	$\frac{1}{2}$
	II	0.64	0.96	0.0	1.4	$\frac{2}{3}$
	III	0.64	0.96	0.0	1.9	1
D	I	0.50	0.75	0.0	0.6	$\frac{1}{2}$
	II	0.86	1.29	0.0	1.2	$\frac{2}{3}$
	III	0.86	1.29	0.0	1.7	1

Consideraciones generales en estructuras tipo 6

En edificios industriales se tiene que considerar una serie de condiciones de carga que en edificios urbanos generalmente no aparecen, como serían cargas de grúa en diferentes posiciones y condiciones de izaje, pesos de equipo en condiciones de operación y prueba, equipos con características vibratorias, variantes en la carga viva para diferentes condiciones de operación y montaje de equipo.

Las estructuraciones que resultan en los edificios industriales son muy variadas y al mismo tiempo diferentes de las de edificios urbanos. Esto se debe a la necesidad de adaptarse al arreglo del equipo que haya que albergar en el edificio y al proceso industrial que se lleve a cabo en él, lo que trae consigo irregularidades importantes en su estructuración como, ausencia de diafragmas rígidos en los sistemas de piso debido a la presencia de grandes huecos, estructuración no uniforme en planta, estructuración no uniforme en elevación, distribución no uniforme de masas en los pisos a lo alto de la estructura, y rigideces de entrepiso muy diferentes de los marcos de la estructura y a lo alto de un mismo marco, causadas por la presencia irregular de contraventeo vertical y cambio de posición del contraventeo de entrepiso a entrepiso.

Criterios de análisis

Las estructuras industriales requieren de criterios de análisis sísmico más racionales, eliminando la posibilidad de consideraciones simplificadoras que en ocasiones se utilizan en estructuras convencionales. Tales estructuras se analizarán bajo la acción de tres componentes del movimiento del terreno; dos horizontales ortogonales y uno vertical. Los efectos producidos por dichos componentes se combinarán con los de las fuerzas gravitacionales.

Los efectos de los componentes horizontal y vertical del movimiento del terreno se tomarán en cuenta mediante la acción de sistemas de fuerzas laterales y verticales equivalentes respectivamente.

El análisis de los efectos debidos a cada componente del movimiento del terreno deberá satisfacer lo siguiente:

➤ La influencia de fuerzas laterales se analizará tomando en cuenta los desplazamientos horizontales y verticales y los giros de todos los elementos integrantes de la estructura, así como la continuidad y rigidez de los mismos.

Si el cálculo indica la aparición de tensiones entre la cimentación y el terreno se admitirá que en una zona de la cimentación no existen esfuerzos de contacto, debiéndose satisfacer con el resto del área el equilibrio de las fuerzas y los momentos totales calculados, siempre que no se exceda la resistencia del terreno.

Elección del tipo de análisis

El análisis sísmico de estructuras industriales se podrá efectuar empleando dos métodos; a) Análisis estático y b) Análisis dinámico. Se requerirá de análisis dinámico en todas las estructuras en las que los efectos de modos superiores de vibración o la amplificación dinámica excesiva puedan afectar significativamente la respuesta de partes importantes de la construcción o de equipo costoso.

Valuación de fuerzas sísmicas

Para calcular las fuerzas cortantes de diseño en diferentes niveles de una estructura se supondrán los dos siguientes estados de carga actuando simultáneamente:

1. Un conjunto de fuerzas horizontales que actúan sobre cada uno de los puntos donde se supondrán concentradas las masas de la estructura.

Cada una de estas fuerzas se tomará igual al producto del peso de la masa correspondiente por un coeficiente que varía linealmente con la altura, desde cero en el despiante de la estructura hasta un máximo en el extremo superior

de la misma, de modo que la relación V/W sea igual a $0.95 \left(\frac{c}{Q'} \right) \times \phi \xi$, siendo V la fuerza cortante basal, W el peso de la estructura incluyendo cargas muertas y vivas, c el coeficiente sísmico y Q' el factor reductivo correspondiente al periodo fundamental T_e de vibración de la estructura. Además, $\phi = \frac{T_b}{T_e}$ es un factor reductivo que depende de la flexibilidad de la estructura, el cual no tomarse menor que 0.4 ni mayor que 1.0 cuando el periodo característico T_b sea mayor que T_e , ξ es un factor reductivo que depende del amortiguamiento de la estructura, el cual es igual a 0.8 para estructuras de acero remachadas o atornilladas y de madera, 0.9 para estructuras de concreto reforzado o presforzado y de 1.0 para estructuras de acero soldadas o con juntas a base de tornillos de alta resistencia trabajando a fricción.

De acuerdo con lo anterior, la fuerza la fuerza horizontal aplicada en el nivel n será:

$$P_n = 0.95 W_n h_n \frac{\sum_{n=1}^N W_n}{\sum_{n=1}^N W_n h_n} \cdot \frac{c}{Q'} \phi \xi \quad (3)$$

Donde W_n es el peso de la masa n , h_n la altura correspondiente sobre el desplante y N el número total de masas de la estructura.

El periodo fundamental de vibración de la estructura se obtendrá aproximadamente utilizando la expresión:

$$T_e = \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \tau \left[\frac{\sum_{n=1}^N W_n X_n^2}{\sum_{n=1}^N P_n X_n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Donde X_n es el desplazamiento lateral de la masa n asociado a la fuerza P_n , g la aceleración del gravedad y τ un coeficiente para tomar en cuenta las variaciones en el cálculo del periodo fundamental, el cuál se tomará como $\tau=1$

para estructuras cuya estructuración no difiera radicalmente de estructuras de edificios o como $\tau=0.75$ cuando no se cumpla esta condición.

2. Una fuerza horizontal que actúa en el extremo superior de la estructura sin incluir tanques , apéndices u otros elementos cuya estructuración difiera radicalmente del resto de la construcción; dicha fuerza será igual a:

$$P_N = 0.05W \frac{c}{Q'} \phi \xi \quad (5)$$

De esta forma, la fuerza cortante basal que resulta de los dos estados de carga actuando simultáneamente es de:

$$V = W \left(\frac{c}{Q'} \right) \phi \xi \quad (6)$$

la cual está reducida por la ductilidad, la flexibilidad y el amortiguamiento de la estructura.

3.2 Cargas ocasionadas por viento de acuerdo a Comisión Federal de Electricidad

En la determinación de las velocidades de diseño solo se consideraron los efectos de los vientos que ocurren normalmente durante el año en todo el país y los causados por huracanes en las costas del pacifico del Golfo de México y del Caribe.

Requisitos generales para el análisis y diseño estructural

Los requisitos generales que a continuación se listan son aplicables al diseño de estructuras sometidas a la acción del viento y deberán considerarse como los mínimos indispensables.

- **Direcciones de análisis:** Las construcciones se analizarán, suponiendo que el viento puede actuar por lo menos en dos direcciones horizontales, perpendiculares e independientes entre sí. Se elegirán aquellas que representen las condiciones más desfavorables para la estabilidad de la estructura (o parte de la misma) en estudio.
- **Seguridad contra el volteo:** En éste caso, la seguridad de las construcciones se analizará suponiendo las cargas vivas que contribuyen a disminuir este efecto. Para las estructuras pertenecientes a los grupos B y C, el cociente entre el momento estabilizador y el actuante de volteo, no debe ser menor que 1.5, y para las del grupo A, no deberá ser menor que 2.0.
- **Seguridad contra el deslizamiento:** Al analizarse esta posibilidad, deberán suponerse nulas todas las cargas vivas. La relación entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza que provoca el desplazamiento horizontal deberá ser por lo menos igual a 1.5, para las estructuras de los grupos B y C y para las del grupo A deberá ser por lo menos igual a 2.

Clasificación de los CAFD según su importancia

La seguridad necesaria para que una estructura dada cumpla adecuadamente con las funciones para las que se haya destinado, puede establecerse a partir de niveles de importancia o de seguridad. En la práctica, dichos niveles se asocian con velocidades del viento que tengan una probabilidad de ser excedidas y a

partir de ésta se evalúa la magnitud de las solicitudes de diseño, debidas al viento.

Atendiendo al grado de seguridad aconsejable, para un calentador a fuego directo, ésta se clasifica dentro del Grupo A que establece el Reglamento de Construcción:

GRUPO A

Estructuras para las que se recomienda un grado de seguridad elevado. Pertenecen a este grupo aquéllas que en caso de fallar, causarían la pérdida de un número importante de vidas, o perjuicios económicos o culturales excepcionalmente altos; asimismo, las construcciones y depósitos cuya falla implique un peligro significativo por almacenar o contener sustancias tóxicas o inflamables, así como aquéllas cuyo funcionamiento es imprescindible y debe continuar después de la ocurrencia de vientos fuertes tales como los provocados por huracanes. Quedan excluidos los depósitos y las estructuras enterradas. Ejemplos de este grupo son las construcciones cuya falla impida la operación de plantas termoeléctricas, hidroeléctricas y nucleares; entre estas pueden mencionarse las chimeneas, las subestaciones eléctricas y las torres y postes que forman parte de líneas de transmisión principales. Dentro de esta clasificación también se cuentan las centrales telefónicas e inmuebles de telecomunicaciones principales, puentes, estaciones terminales de transporte, estaciones de bomberos, de rescate y de policía, hospitales e inmuebles médicos con áreas de urgencias, centros de operación en situaciones de desastre, escuelas, estadios, templos y museos. Del mismo modo pueden considerarse los locales, las cubiertas y los paraguas que protejan equipo especialmente costoso, y las áreas de reunión que puedan alojar a más de doscientas personas, tales como salas de espectáculos, auditorios y centros de convenciones.

Clasificación de los CAFD según su respuesta ante las acciones del viento

De acuerdo con su sensibilidad ante los efectos de ráfagas del viento y a su correspondiente respuesta dinámica, las construcciones se clasifican en cuatro tipos. Con base en esta clasificación, podrá seleccionarse el método para obtener las cargas de diseño por viento sobre las estructuras y la determinación de efectos dinámicos suplementarios si es el caso.

Según la clasificación anteriormente señalada, los calentadores pertenecen al siguiente tipo:

TIPO 1

Estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento. Abarca todas aquellas en las que la relación de aspecto λ , (definida como el cociente entre la altura y la menor dimensión en planta), es menor o igual a cinco y cuyo periodo natural de vibración es menor o igual a un segundo. Pertenecen a este tipo, por ejemplo, la mayoría de los edificios para habitación u oficinas, bodegas, naves industriales, teatros y auditorios, puentes cortos y viaductos. En el caso de puentes, constituidos por losas, trabes, armaduras simples o continuas o arcos, la relación de aspecto se calculará como el cociente entre el claro mayor y la menor dimensión perpendicular a éste. También incluye las construcciones cerradas con sistemas de cubierta suficientemente rígidos, es decir, capaces de resistir las cargas debidas al viento sin que varíe esencialmente su geometría. Se excluyen las cubiertas flexibles, como las de tipo colgante, a menos que por la adopción de una geometría adecuada, proporcionada por la aplicación de presfuerzo u otra medida conveniente, logre limitarse la respuesta estructural dinámica.

Determinación de la velocidad de diseño " V_D ".

La velocidad de diseño, V_D , es la velocidad a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura o sobre un componente de la misma.

La velocidad de diseño, en km/h , se obtendrá de acuerdo con la ecuación:

$$V_D = F_T F_a V_R \quad (7)$$

En donde:

F_T .- es un factor que depende de la topografía del sitio (dimensional).

F_a .- el factor que toma en cuenta el efecto combinado de las características de exposición locales, del tamaño de la construcción y de la variación de la velocidad con la altura (adimensional).

V_R la velocidad regional que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura (km/h).

Categorías de terrenos y clases de estructuras

Tanto en el procedimiento de análisis estático, como en el dinámico, intervienen factores que dependen de las condiciones topográficas y de exposición locales del sitio en donde se desplantará la construcción, así como del tamaño de ésta. Por lo tanto, a fin de evaluar correctamente dichos factores, es necesario establecer clasificaciones de carácter práctico. En la tabla 3-3, se consignan cuatro categorías de terrenos, atendiendo al grado de rugosidad que se presenta alrededor de la zona de desplante.

La tabla 3-4 divide a las estructuras y a los elementos que forman parte de ellas en tres clases, de acuerdo con su tamaño.

En la dirección del viento que se está analizando, el terreno inmediato a la estructura deberá presentar la misma rugosidad (categoría), cuando menos en

una distancia denominada longitud mínima de desarrollo, la cual se consigna en la tabla 3-3, para cada categoría de terreno.

Cuando no exista esta longitud mínima, el factor de exposición F deberá modificarse para tomar en cuenta este hecho; en este caso, el diseñador podrá seleccionar, entre las categorías de los terrenos que se encuentren en una dirección de análisis dada, la que provoque los efectos más desfavorables y determinar el factor de exposición para tal categoría, o seguir un procedimiento analítico más refinado a fin de corregir el factor de exposición.

TABLA 3-3 CATEGORIAS DE LOS TIPOS DE TERRENO

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS	LIMITACIONES
1	Terreno abierto, prácticamente plano y sin obstrucciones.	Franjas costeras planas, zonas de pantanos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor. Superficies nevadas planas.	La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor.
2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones.	Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones, tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas.	Las obstrucciones tienen alturas de 1.5 a 10 m, en una longitud mínima de 1500 m.
3	Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas.	Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas.	Las obstrucciones presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la construcción; la que sea mayor.
4	Terreno con numerosas obstrucciones, largas, altas y estrechamente espaciadas	Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados	Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento, debe ser la mayor entre 400 m y 10 veces la altura de la construcción.

TABLA 3-4 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A SU TAMAÑO

CLASE	DESCRIPCIÓN
A	Todo elemento de recubrimiento de fachadas, de ventanería y de techumbres y sus respectivos sujetadores. Todo elemento estructural aislado, expuesto directamente a la acción del viento. Asimismo, todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea menor que 20 m.
B	Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, varíe entre 20 y 50 m.
C	Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea mayor que 50 m.

Mapas de isotacas y velocidad regional " V_R "

La velocidad regional del viento, V_R , es la máxima velocidad media probable de presentarse con un cierto periodo de recurrencia en una zona o región determinada del país.

La velocidad regional, V_R , se determina tomando en consideración tanto la localización geográfica del sitio de desplante de la estructura como su destino.

A continuación se presentan las tablas 3-5 y 3-6 con las principales ciudades del país y sus correspondientes velocidades regionales para diferentes periodos de retorno.

TABLA 3-5 ZONIFICACIÓN EOLICA

CLAVE	LOCALIZACIÓN	ISOTACA	ZONA EOLICA
1	CAMARGO, CHIH.	157	C
2	REYNOSA, TAMPS.	180	D
3	CADEREYTA, N.L.	154	C
4	CD. MADERO Y/O TAMPICO, TAMPS.	190	D
5	SALAMANCA, GTO.	135	E
6	TULA, HGO.	130	E
7	AZCAPOTZALCO, D.F.	122	E
8	SAN MARTIN TEXMELUCAN, PUE.	129	E
9	POZA RICA, VER.	160	D
10	MINATITLAN, VER.	145	D
11	COATZACOALCOS, PAJARITOS Y/O MORELOS, VER.	146	D
12	LA CANGREJERA.	145	D
13	LA VENTA, TAB.	145	D
14	CACTUS Y/O SITIO GRANDE, CHIS.	135	G
15	CUNDUACAN, TAB.	150	D
16	CD. PEMEX, TAB.	130	D
17	SALINA CRUZ, OAX.	147	F
18	LÁZARO CARDENAS, MICH.	200	F

TABLA 3-6 VELOCIDADES REGIONALES

VELOCIDADES REGIONALES, V_R	
ZONA EÓLICA	V_R , VELOCIDAD REGIONAL (km/h) ESTRUCTURAS GRUPO A ($T_R = 200$ AÑOS)
A	200
B	150
C	150
D	180
E	150
F	150
G	125

Factor de exposición, F_a .

El coeficiente F_a , refleja la variación de la velocidad del viento con respecto a la altura "z". Asimismo, considera el tamaño de la construcción o de los elementos de recubrimiento y las características de exposición.

El factor de exposición se calcula con la siguiente expresión:

$$F_a = F_c \cdot F_{rz} \quad (8)$$

en donde:

F_c es el factor que determina la influencia del tamaño de la construcción, adimensional.

F_{rz} es el factor que establece la variación de la velocidad del viento con la altura "z" en función de la rugosidad del terreno de los alrededores, adimensional.

Factor de tamaño F_c .

El factor de tamaño, F_c , es el que toma en cuenta el tiempo en que la ráfaga del viento actúa de manera efectiva sobre una construcción de dimensiones dadas. Considerando la clasificación de las estructuras según su tamaño (véase la tabla 3-4), este factor puede determinarse con la tabla 3-7.

TABLA 3-7 FACTOR DE TAMAÑO

CLASE DE ESTRUCTURA	F_c
A	1.00
B	0.95
C	0.90

Factor de rugosidad y altura, F_{rz} .

El factor de rugosidad y altura, F_{rz} , establece la variación de la velocidad del viento con la altura "z". Dicha variación está en función de la categoría del terreno y del tamaño de la construcción.

Se obtiene de acuerdo con las expresiones siguientes:

$$F_{rz} = 1.56 \left(\frac{10}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{Si } z \leq 10 \quad (9)$$

$$F_{rz} = 1.56 \left(\frac{z}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{Si } 10 < z < \delta \quad (10)$$

$$F_{rz} = 1.56 \quad \text{Si } z \geq \delta \quad (11)$$

En donde:

δ es la altura, medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y se puede considerar constante; a esta altura se le conoce como altura gradiente; δ y Z están dadas en metros, y

α el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura y es adimensional.

Estos coeficientes se muestran a continuación en la tabla 3-8.

TABLA 3-8

CATEGORÍA DE TERRENO	α			δ
	CLASE DE ESTRUCTURA			(m)
	A	B	C	
1	0.099	0.101	0.105	245
2	0.128	0.131	0.138	315
3	0.156	0.160	0.171	390
4	0.170	0.177	0.193	455

Factor de topografía, F_T

Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplantará la estructura. Así, por ejemplo, si la construcción se localiza en las laderas o cimas de colinas o montañas de altura importante con respecto al nivel general del terreno de los alrededores, es muy probable que se generen aceleraciones del flujo del viento y, por consiguiente, deberá incrementarse la velocidad regional.

En la tabla 3-9 se muestran los valores que se recomiendan con base en la experiencia para el factor de topografía, de acuerdo con las características topográficas del sitio.

TABLA 3-9

SITIOS	TOPOGRAFIA	F _T
Protegidos	Base de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento.	0.8
	Valles cerrados	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores que 5%.	1.0
	Terrenos inclinados, y con pendientes entre 5 y 10%, valles abierto y litorales planos.	1.1
Expuestos	cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores que 10%, cañadas cerradas y valles que formen un embudo o cañón, islas.	1.2

Cálculo de la presión dinámica de base q_z

Cuando el viento actúa sobre un obstáculo, genera presiones sobre su superficie que varía según la intensidad de la velocidad y la dirección del viento. La presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie plana perpendicular a él se denomina comúnmente presión dinámica de base y se determina con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.0048 G V_D^2 \quad (12)$$

En donde:

G.- Es el factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar, adimensional.

V_D .- La velocidad de diseño, en km/h , (definida anteriormente).

q_z .- La presión dinámica de base a una altura Z sobre el nivel del terreno, en kg/cm^2 .

El factor de 0.0048 corresponde a un medio de la densidad del aire y el valor de G se obtiene de la expresión:

$$G = \frac{0.392\Omega}{273 + \tau} \quad (13)$$

En donde:

Ω .- Es la presión barométrica en mm de hg.

τ .- La temperatura ambiental en °C.

En la tabla 3-10 se presenta la relación entre los valores de la altitud, h_m , en metros sobre el nivel del mar, msnm, y la presión barométrica, Ω .

TABLA 3-10

ALTITUD (msnm)	PRESION BAROMETRICA (mm de hg)
0	760
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

La presión actuante sobre una construcción determinada, p_z , en kg/cm^2 , se obtiene tomando en cuenta principalmente su forma y está dada, de manera general, por la ecuación:

$$p_z = C_p q_z \quad (14)$$

En donde el coeficiente C_p , se denomina coeficiente de presión y es adimensional. Los valores de los coeficientes de presión para diversas formas estructurales (En este caso a CAFD) y el cálculo de la presiones globales y locales importantes, se especifican más adelante.

Análisis estático para CAFD

Los empujes medios que se evalúan con este procedimiento son aplicables al diseño de las estructuras pertenecientes al tipo 1.

Limitaciones al aplicar el análisis

El método estático sólo puede utilizarse para diseñar estructuras o elementos estructurales poco sensibles a la acción turbulenta del viento. Esta condición se satisface cuando:

- La relación $H/D \leq 5$, en donde H es la altura de la construcción y D es la dimensión mínima de la base.
- El periodo fundamental de la estructura es menor o igual que un segundo.

Para el caso de construcciones cerradas, techos aislados y toldos y cubiertas adyacentes, no es necesario calcular su periodo fundamental cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- a) La altura total de la construcción, H, es menor o igual que 15 metros.
- b) La planta de la estructura es rectangular o formada por una combinación.
- c) la relación H/D es menor que cuatro para construcciones cerradas y menor que uno para techos aislados; para toldos y cubiertas adyacentes en voladizo, el claro no debe ser mayor que 5 m.
- d) para construcciones cerradas y techos aislados, la pendiente de sus techos-inclinados o a dos aguas- no debe exceder los 20°, y en techos de claros múltiples deberá ser menor que 60°; para toldos y cubiertas adyacentes, la pendiente no será mayor que 5°.

Cálculo de empujes debidos al viento

Los empujes medios (estáticos), evaluados de acuerdo con lo especificado en estos incisos, se aplican en el diseño de calentadores a fuego directo, pertenecientes al Tipo 1, por lo que las fuerzas que se ejercen sobre este elemento (estructura cerrada), muros y techo, serán las resultantes de las presiones actuantes sobre sus superficies exteriores, y deberán calcularse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F_e = pzAz \quad (15)$$

en donde:

F_e .- es la fuerza del viento que actúa perpendicularmente a la superficie de un elemento de la construcción, en kg.

pz - la presión de diseño a la altura Z , en kg/m^2 .

A_z .- el área de la estructura, o parte de ella, en m^2 , a la altura Z , sobre la que actúa la presión de diseño, pz . Esta corresponderá:

- a) a una parte de alguna de las superficies de la construcción; la presión de diseño que corresponde a una velocidad y dirección del viento dada, se verá afectada por el coeficiente de presión, C_p , el cual a su vez depende de la forma de la estructura.
- b) a la superficie de la construcción o de un elemento estructural, proyectada sobre un plano normal al flujo del viento; la presión de diseño se verá afectada por el coeficiente de arrastre, C_a , según la forma de la construcción o del elemento estructural.
- c) a la superficies que se indiquen en los incisos correspondientes cuando se empleen coeficientes de fuerza, C_f , o coeficientes de presión neta, C_{pn} , para evaluar la fuerza total de diseño

Las fuerzas y los momentos de volteo totales que actúan sobre una construcción deberán obtenerse sumando los efectos de las presiones exteriores e interiores, (En el caso de CAFD solo será el efecto de la presión exterior), o de las presiones netas, que se presentan sobre sus superficies.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO TÍPICO

1.1 Información requerida por el software de análisis estructural *STAAD III*

STAAD III, es un programa estructural completo que abarca todos los aspectos de la ingeniería estructural (desarrollo de modelos, análisis y diseño, visualización y verificación). El *STAAD III* esta basado en la teoría del elemento finito; Además, permite construir el modelo, verificarlo gráficamente, realizar el análisis y diseño, revisar los resultados, ordenar/buscar los datos para crear un informe, todo ello dentro del mismo ambiente basado en gráficas. Cuenta con un base de datos relacional activa en su núcleo, la interfase gráfica concurrente de usuarios (CGUI) controla y administra todas las funciones.

En forma general la secuencia para llevar a cabo un análisis y diseño estructural dentro de *STAAD III* es el siguiente:

- Crear un archivo de entrada- gráficamente o por medio de un editor de texto-
- Ejecutar *STAAD III* para realizar el análisis y diseño
- Visualización/verificación del modelo
- Revisión/verificación de resultados gráficamente y numéricamente
- Impresión y ploteo

Para llevar a cabo la introducción de datos del calentador a fuego directo atmosférico; primero se realizó una discretización de la estructura mediante lo cual se genero la esquematización nodal, con sus correspondientes coordenadas en x, y, z.

Una vez obtenido el modelo estructural del calentador a fuego directo, se le asignaron las propiedades y características de cada uno de los miembros que conforman la estructura, así como también la asignación de las constantes de los materiales utilizados.

Cuando ya se tiene completamente definido el modelo así como sus propiedades y secciones, se le asignan los diferentes casos de carga bajo los cuales se realizara el análisis y diseño estructural. En este caso se le aplicarán tres casos de carga como son: gravitacionales, sismo y viento.

El siguiente paso es realizar el análisis del modelo estructural, con lo cual se obtienen los elementos mecánicos de cada miembro así como sus desplazamientos correspondientes. Una vez revisados los resultados obtenidos del programa se propone el diseño de los miembros para que trabajando en conjunto nos proporcionen el estado real de la estructura y así poder llevar a cabo la revisión de los estados límite que señala la reglamentación vigente.

4.1.1 Configuración de la estructura

La configuración estructural se basa en el proyecto de diseño Térmico-Mecánico, el cual debe cumplir con las especificaciones requeridas de acuerdo al tipo de proceso que en ese equipo se vaya a realizar.

El diseño Térmico-Mecánico del equipo cuenta con todos los componentes que se encuentran distribuidos tanto en la sección de radiación, como en la de convección.

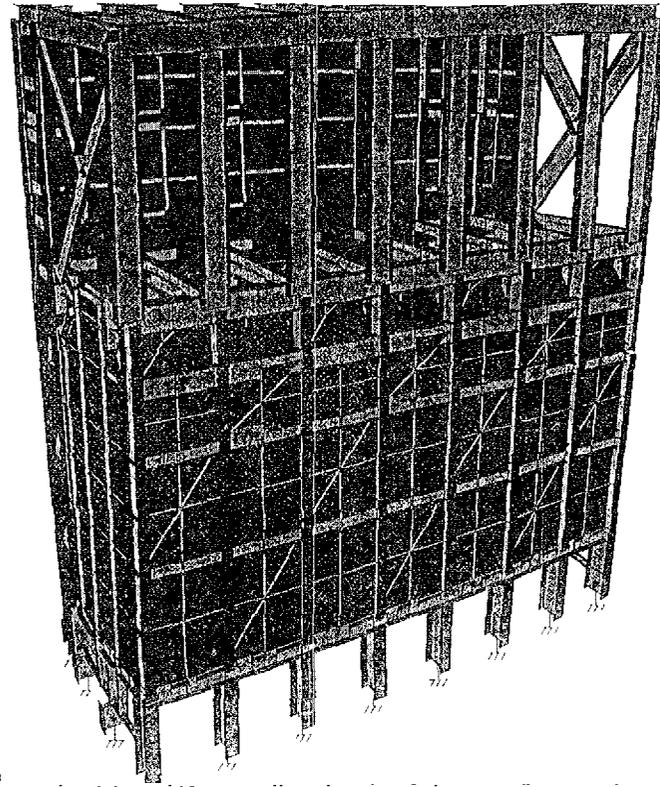
Una vez que se cuenta con los planos correspondientes en los cuales aparecen su geometría, dimensiones, así como los pesos de los equipos que se encuentran alojados interiormente. El diseñador propone un modelo estructural, propiedades y secciones de acuerdo al tipo de acciones (cargas) a que vaya a estar sujeto.

En este caso por tratarse de una modernización estructural, partimos de la estructuración propuesta originalmente; antes de proponer la modernización se realiza la configuración estructural de acuerdo a los lineamientos que señala el software *STAAD III*.

Una vez introducido el modelo estructural original, se introducen los elementos que forman parte de la modernización. Posteriormente se hacen las revisiones correspondientes en cuanto a la configuración geométrica con sus secciones y propiedades correspondientes (figs 4-1 y 4-2).

STRUCTURE DATA

TYPE SPALL
 ST. 9/R
 No. 17E4
 IF 2 221
 D. 8
 No. 9
 CR. 19.0
 SDC 20.4
 CLAY 8.



SECTION 17E4 221

SECTION 17E4

TITULO: CALENTADOR ATROSCER...
 TITULO: CALENTADOR ATROSCER...

DISEÑADO POR: S. ZABO...
 DISEÑADO POR: S. ZABO...

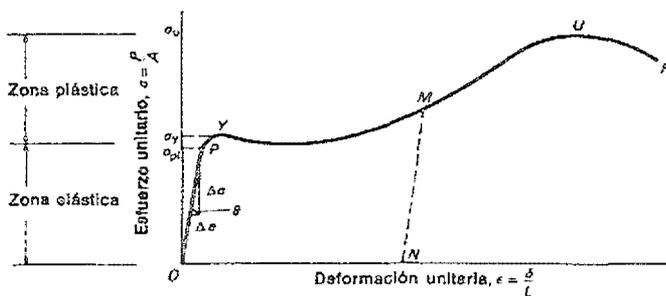
fig. 4-1 Vista de la sección de radiación

1.1.2 Propiedades de los materiales

Para poder seleccionar un material se necesita conocer las características elásticas, inelásticas, de fractura y fatiga a fin de evaluar si es adecuado para fabricar un miembro estructural de una estructura en particular.

El acero es básicamente una aleación de hierro y carbono, este último en cantidades muy pequeñas (0.32%) para acero A-36. Al aumentar la cantidad de carbono, aumenta la resistencia pero esto disminuye la ductilidad y la soldabilidad.

El acero es el metal más importante utilizado con fines estructurales ya que combina una alta resistencia tanto en tensión como en compresión con gran rigidez (Modulo de elasticidad elevado), buena ductilidad y facilidad de fabricación, los otros metales estructurales (Aluminio principalmente) se emplean en casos en que son fundamentales algunas de las propiedades que los hacen diferentes del acero, como bajo peso volumétrico o elevada resistencia a la corrosión, algunas de las propiedades más importantes de los aceros se determinan por medio de ensayos de tensión en los que se obtienen gráficas esfuerzo-deform.



ACERO A-36

Resistencia a tensión 4200 a 5600 kg/cm²

$$\sigma_{y \text{ min}} = 2530 \text{ kg/cm}^2$$

Las propiedades mecánicas principales del acero son las siguientes:

➤ **Esfuerzo de fluencia (σ_y)**

En aceros que no tienen punto de fluencia, se define como el esfuerzo correspondiente a una deformación especificada de 0.2%, los que tienen flujo plástico definido es el esfuerzo correspondiente a una deformación de 0.5%.

➤ **Modulo de elasticidad (E)**

Es la pendiente de la gráfica esfuerzo-deformación en la zona de comportamiento elástico, define la rigidez del material, gobierna las deformaciones e influye en la resistencia al pandeo, es prácticamente constante para todos los aceros estructurales a temperatura ambiente.

➤ **Ductilidad**

Es la capacidad que tiene un material de experimentar deformaciones plásticas grandes sin fracturarse. De ello depende la energía que puede absorber el material y las redistribuciones de esfuerzos que preceden la falla.

➤ **Resistencia última (F_u)**

Es el cociente de la fuerza máxima observada del ensaye de tensión, entre el área original del espécimen.

➤ **Límite de proporcionalidad (L_p)**

Es el esfuerzo máximo para el cual los esfuerzos son directamente proporcionales a las deformaciones.

➤ **Límite elástico (L_e)**

Es el mayor esfuerzo que puede soportar el material sin ser deformado permanentemente.

➤ **Límite de fluencia (F_y)**

Es el esfuerzo para el cual la deformación presenta un gran incremento sin que haya un incremento correspondiente en el esfuerzo.

El punto de fluencia del acero variará un poco con la temperatura, la velocidad de la prueba y las características (tamaño, forma y acabado de la superficie) del espécimen de prueba. El punto de fluencia F_y es la propiedad más importante que diferencia los aceros estructurales.

➤ **Relación de poisson (μ)**

Es la relación entre la deformación unitaria transversal, y la deformación unitaria longitudinal bajo una carga axial dada, el valor varia de 0.35 a 0.33, dentro del rango elástico.

➤ **Modulo de elasticidad para esfuerzo cortante (G)**

Es la relación del esfuerzo cortante a la deformación unitaria por cortante dentro del rango elástico.

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad \text{Para aceros estructurales } G \cong 845000 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **Resistencia a la fatiga**

Es el esfuerzo al cual el acero falla bajo aplicaciones repetidas de carga se denomina, se denomina también límite de aguante.

➤ **Resistencia al impacto**

Es la medida de la capacidad del material para absorber energía bajo aplicaciones rápidas de carga.

Tipos de acero

1. Aceros al carbono
2. Aceros de alta resistencia y baja aleación
3. Aceros aliados hidratados térmicamente
4. Aceros al carbono de alta resistencia tratados térmicamente
5. Aceros super alta resistencia

Ventajas del acero

- Alta resistencia
- Uniformidad
- Elasticidad
- Durabilidad
- Ampliación de estructuras existentes
- Adaptación a prefabricación
- Rapidez de montaje
- Soldabilidad
- Tenacidad y resistencia a la fatiga
- Ductibilidad
- Posible reutilización después de que la estructura se desmonte
- Valor de rescate

Desventajas del acero

- Costo inicial de adquisición
- Costo de mantenimiento
- Costo de protección contra incendio
- Susceptibilidad al pandeo

4.1.3 Secciones y sus propiedades

La mayor parte de los aceros estructurales usados en la construcción de estructuras se fabrican a partir de perfiles laminados.

Para llevar a cabo la elección de las secciones y sus propiedades, estas fueron tomadas del American Institute of Steel Construction (AISC), ya que el programa cuenta dentro de sus librerías con este código.

Primeramente esta selección fue hecha en base al manual del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA), y posteriormente se realizó la equivalencia de las secciones del AISC, con lo cual se obtuvieron las secciones y sus propiedades que a continuación se mencionan en las tablas 4-1, 4-2, 4-3:

TABLA 4-1 (Perfiles W)

PERFIL W (in*lb/ft)	A (in ²)	I (in ⁴)	S (in ³)	D (in)	bf (in)	tf (in)	tw (in)	r (in)
16 x 89	26.000	1300.000	155.000	16.750	10.365	0.875	0.525	7.050
16 x 57	16.800	758.000	92.200	16.430	7.120	0.715	0.430	6.720
14 x 53	15.600	541.000	77.800	13.920	8.060	0.660	0.370	5.890
12 x 26	7.650	204.000	33.400	12.220	6.490	0.380	0.230	5.170

TABLA 4-2 (Perfiles C)

PERFIL C (in*lb/ft)	A (in ²)	I (in ⁴)	S (in ³)	d (in)	Bf (in)	tf (in)	tw (in)	k (in)	r (in)	e _o (in)
8 x 11.50	3.380	32.600	8.140	8.000	2.260	0.390	0.220	15/16	3.110	0.697
MC 6 X12	3.530	18.700	6.240	6.000	2.497	0.375	0.310	13/16	2.300	0.725
6 X 10.5	3.090	15.200	5.060	6.000	2.034	0.343	0.314	15/16	2.220	0.486
6 X 8.2	2.400	13.100	4.380	6.000	1.920	0.343	0.200	13/16	2.340	0.599

TABLA 4-3 (Perfiles LI, LD)

PERFIL C (in*lb/ft)	A (in ²)	I (in ⁴)	S (in ³)	r (in)
4 x 4 x ½	3.750	5.560	1.970	1.220
3 1/2 x 3 1/2 x ¼	1.690	2.010	0.794	1.090
6 x 4 x ½	4.750	17.400	4.330	1.910
4 x 3 x ½	3.250	5.050	1.890	1.250

4.2 Aplicación de las acciones ocasionadas por cargas gravitacionales, sismo y viento.

Para obtener las cargas correspondientes se requirió primero de conocer algunas de las propiedades de los materiales así como los pesos de los componentes que forman parte del calentador las cuales se muestran en la tabla 4-4:

TABLA 4-4 PESOS DE COMPONENTES DEL CALENTADOR

Concreto refractario	881.015 Kg/m ³
Ladrillo refractario	2120 Kg/m ³
Serpentín con agua	46.847 Kg/m
Quemadores	500 Kg/pza.
Soportes para tubo	20 Kg/pza.
Tapones	50 Kg/pza.
Carga Viva (Solo en plataformas)	250 Kg/m ²
Plataformas	126.70 Kg/m ²
Escaleras	45 Kg/m

PLATAFORMAS Y ESCALERAS(Laterales y Frontales)

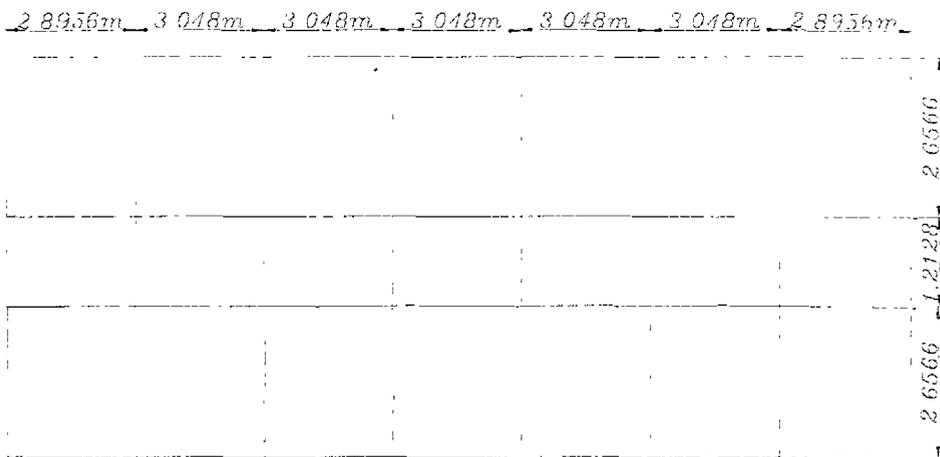
SECCION	PESO (Kg)
1	4615.402
2	903.022
3	762.149
4	600.797
5	4615.402
6	4373.356
7	4373.356

Peso total=20243.484 kg.

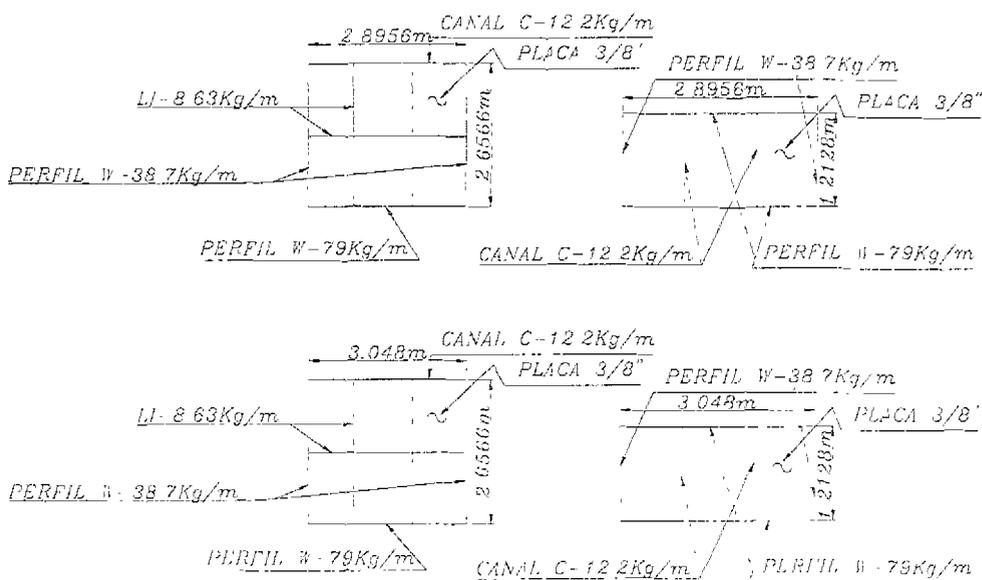
RADIACIÓN**Primera Sección:**

A continuación se muestra un ejemplo del procedimiento que se utilizó para conocer los valores correspondientes a los pesos estructurales:

PISO DEL CALENTADOR



PISO DEL CALENTADOR



Cuadro 1 de 2.8956m x 2.6566m

PERFIL W-79 kg/m	$79 \times 2.8956 = 228.752 \text{ kg.}$
LI- 8.63 kg/m	$8.63 \times 8.2088 = 70.842 \text{ kg.}$
PERFIL W-38.7 kg/m	$38.7 \times 5.313 = 205.621 \text{ kg.}$
PERFIL C-12.20 kg/m	$12.20 \times 2.8956 = 35.326 \text{ kg}$
PLACA 3/8"	$2.8956 \times 2.6566 \times 0.00953 \times 7850 = 575.174 \text{ kg.}$
SERPENTINES (8 Tub.)	$8 \times 2.8956 \times 46.847 = 1085.201 \text{ kg.}$
TAPONES(4 pzas.)	$4 \times 50 = 200 \text{ kg.}$
CONCRETO REF.	$2.8956 \times 2.6566 \times 0.127 \times 881.015 = 860.70 \text{ kg.}$
LADRILLO REF.	$2.8956 \times 2.6566 \times 0.0635 \times 2120 = 1035.557 \text{ kg}$

Cuadro 2 de 3.048m x 2.6566m

PERFIL W-79 kg/m	$79 \times 3.048 = 240.792 \text{ kg.}$
LI- 8.63 kg/m	$8.63 \times 8.361 = 72.157 \text{ kg}$
PERFIL W-38.7 kg/m	$38.7 \times 5.313 = 205.621 \text{ kg.}$
PERFIL C-12.20 kg/m	$12.20 \times 3.048 = 37.186 \text{ kg}$
PLACA 3/8"	$3.048 \times 2.6566 \times 0.00953 \times 7850 = 605.446 \text{ kg.}$
SERPENTINES (8 Tub.)	$8 \times 3.048 \times 46.847 = 1155.809 \text{ kg.}$
CONCRETO REF	$3.048 \times 2.6566 \times 0.127 \times 881.015 = 905.999 \text{ kg.}$
LADRILLO REF	$3.048 \times 2.6566 \times 0.0635 \times 2120 = 1090.060 \text{ kg.}$

Cuadro 3 de 2.8956m x 1.2128m

PERFIL C-12.20 kg/m	$12.20 \times 2.426 = 29.597 \text{ kg.}$
PLACA 3/8"	$2.8956 \times 1.2128 \times 0.00953 \times 7850 = 262.580 \text{ kg.}$
CONCRETO REF.	$(2.8956 \times 1.2128 \times 0.127 \times 881.015)/5 = 78.586 \text{ kg.}$
LADRILLO REF.	$(2.8956 \times 1.2128 \times 0.0635 \times 2120)/5 = 94.551 \text{ kg.}$
QUEMADORES	$500 \times 2 = 1000 \text{ kg}$

Cuadro 4 de 3.048m x 1.2128m

PERFIL C-12.20 kg/m	$12.20 \times 2.426 = 29.597 \text{ kg.}$
PLACA 3/8"	$3.048 \times 1.2128 \times 0.00953 \times 7850 = 276.400 \text{ kg.}$
CONCRETO REF	$(3.048 \times 1.2128 \times 0.127 \times 881.015)/5 = 82.722 \text{ kg.}$
LADRILLO REF.	$(3.048 \times 1.2128 \times 0.0635 \times 2120)/5 = 99.527 \text{ kg.}$
QUEMADORES	$500 \times 3 = 1500 \text{ kg}$

Peso total del piso = (C. 1) x (4) + (C. 2) x (10) + (C. 3) x (2) + (C. 4) x (5)
=63691.223 kg.

Marcos 3 y 5

PERFIL W-132.7 kg/m	$132.7 \times 16.196 = 2149.188 \text{ kg.}$
PERFIL W-85.1 kg/m	$85.1 \times 32.715 = 2784.063 \text{ kg.}$
LD- 24.11 kg/m	$24.11 \times 30.6 = 737.786 \text{ kg.}$
LD- 16.52 kg/m	$16.52 \times 112.751 = 1862.640 \text{ kg.}$
PLACA 1/4"	$4.489 \times 21.031 \times 0.00635 \times 7850 = 4706.265 \text{ kg.}$
CONCRETO REF.	$4.489 \times 21.031 \times 0.1524 \times 881.015 = 12676.55 \text{ kg.}$

Marcos tipo (2)

PERFIL C-17.858.7 kg/m	$17.858 \times 18.792 = 335.595 \text{ kg.}$
PERFIL C-15.625 kg/m	$15.625 \times 3.969 = 62.015 \text{ kg}$
PLACA 1/4"	$3.896 \times 6.526 \times 0.00635 \times 7850 = 1267.533 \text{ kg.}$
CONCRETO REF.	$3.325 \times 6.526 \times 0.1524 \times 881.015 = 2913.806 \text{ kg.}$
PARTE DE CONV.	1046.161 kg.
PLAT. Y ESC.	4615.402 kg.

Peso total de la sección 1 = 99186.717 kg.

Segunda Sección:

Marcos 3 y 5

ELEMENTO	PESO (Kg)
Perfil W (85.1 kg/m)	5274.157
Perfil W (79 kg/m)	3322.929
Angulo LD (24.11 kg/m)	1646.616
Angulo LD (16 52 kg/m)	2285.605
Concreto Refractario (0.1524m-esp.)	21875.897
Placa 1/4"	8121.588
Serpentines (24 tubos)	23645.967
Tapones (12 pzas.)	600

Marcos Tipo (2)

ELEMENTO	PESO (Kg)
Canal C (17 858 kg/m)	655.874
Concreto Refractario (0.1524m-esp)	6788.110
Placa 1/4"	2143.483
Soportes (2 pzas.)	40
Parte de Convección	1046.161
Plataformas y Escaleras	903.022

Peso total de la sección 2 = 78349.408 kg.

Tercera Sección:

Marcos 3 y 5

ELEMENTO	PESO (Kg)
Perfil W (85.1 kg/m)	3965.388
Perfil W (79 kg/m)	3322.929
Angulo LD (24.11 kg/m)	1449.879
Angulo LD (16.52 kg/m)	1368.428
Concreto Refractario (0.1524m-esp.)	16447.444
Placa 1/4"	6106.235
Serpentines (20 tubos)	19704.972
Tapones (10 pzas.)	500

Marcos Tipo (2)

ELEMENTO	PESO (Kg)
Canal C (17.858 kg/m)	397.570
Concreto Refractario (0.1524m-esp.)	5103.656
Placa 1/4"	1611.583
Soportes (2 pzas.)	40
Parte de Convección	1046.161
Plataformas y Escaleras	762.149

Peso total de la sección 3 = 61826.394 kg.

Cuarta Sección:

Marcos 3 y 5

ELEMENTO	PESO (Kg)
Perfil W (85.1 kg/m)	2926.759
Perfil W (79 kg/m)	3322.929
Angulo LD (24.11 kg/m)	1234.625
Angulo LD (16.52 kg/m)	1192.007
Concreto Refractario (0.1524m-esp.)	12139.471
Placa 1/4"	4506.868
Serpentines (8 tubos)	7881.989
Tapones (4 pzas.)	200

Marcos Tipo (2)

ELEMENTO	PESO (Kg)
Canal C (17.858 kg/m)	343.080
Concreto Refractario (0.1524m-esp.)	3947.524
Placa 1/4"	1189.471
Soportes (2 pzas.)	40
Parte de Convección	1046.161
Plataformas y Escaleras	600.797

Peso total de la sección 4 = 40571.68 kg.

Quinta Sección:

Marcos 3 y 5

ELEMENTO	PESO (Kg)
Perfil W (85.1 kg/m)	5030.983
Angulo LD (24.11 kg/m)	705.555
Angulo LD (16.52 kg/m)	246.546
Concreto Refractario (0.1524m-esp.)	6020.347
Placa 1/4"	2235.098
Serpentines (4 tubos)	3940.994
Tapones (2 pzas)	100

Marcos Tipo (2)

ELEMENTO	PESO (Kg)
Canal C (17.858 kg/m)	265.684
Concreto Refractario (0.1524m-esp.)	1868.119
Placa 1/4"	589.896
Soportes (2 pzas.)	40

Piso Superior de Radiación

ELEMENTO	PESO (Kg)
Perfil W (85.1 kg/m)	7649.400
Angulo LD (16.52 kg/m)	1202.523
Canal C (17.11 kg/m)	892.359
Placa 3/8"	10301.079
Plataformas y Escaleras	4615.402

CONVECCIÓN

Marcos 2 y 3

ELEMENTO	PESO (Kg)
Perfil W (85.1 kg/m)	7071.477
Canal C (15.625 kg/m)	748.100
Concreto Refractario (0.127m-esp.)	2434.376
Placa 1/4"	1084.536
Serpentines (16 tubos)	15763.978
Tapones (8 pzas.)	400

Marcos Tipo (2)

ELEMENTO	PESO (Kg)
Canal C (15.625 kg/m)	155.192
Concreto Refractario (0.127m-esp.)	376.595
Placa 1/4"	211.614

Peso total de la sección 5 = 73949.852 kg.

Sexta Sección:

Marcos 2, 3 y 5

ELEMENTO	PESO (Kg)
Perfil W (85.1 kg/m)	10928.473
Canal C (15.625 kg/m)	1289.532
Concreto Refractario (0.127m-esp.)	14903.490
Placa 1/4"	6858.630
Serpentines Birlados(20 tubos)	23134.32
Tapones (10 pzas)	500
Plataformas y Escaleras	4373.356

Peso total de la sección 6 = 61987.801 kg.

Séptima Sección:

Marcos 2, 3 y 5

ELEMENTO	PESO (Kg)
Perfil W (85.1 kg/m)	12691.064
Canal C (15.625 kg/m)	1289.532
Concreto Refractario (0.127m-esp.)	14903.490
Placa 1/4"	6858.630
Serpentines Birlados(16 tubos)	18507.456
Tapones (8 pzas.)	400
Plataformas y Escaleras	4373.356

Piso Superior de Convección

ELEMENTO	PESO (Kg)
Perfil W (85.1 kg/m)	11228.911
Canal C (17.11 kg/m)	391.734
Placa 1/4"	1380.640

4 Ductos

ELEMENTO	PESO (Kg)
Canal C (8.036 kg/m)	3632.419
Placa 1/4"	8630.225

Peso total de la sección 7 = 84287.457 kg.

PESO TOTAL DEL CALENTADOR = 500159.309 KG. ≈ 500 TON.

CARGAS VIVAS (solo en plataformas)

Carga viva de diseño $L_0 = 51.204 \text{ lb/ft}^2$

De acuerdo con la fórmula (1) que señala el ANSI, las cargas vivas reducidas son iguales a:

$$L = L_0 \left(0.25 + \frac{15}{\sqrt{A_1}} \right)$$

Sustituyendo $\Rightarrow L = 51.204 \left(0.25 + \frac{15}{\sqrt{1077.588}} \right) = 36.198 \text{ lb/ft}^2 \Rightarrow 176.734 \text{ kg/m}^2$

SECCIÓN	AREA (m ²)	L ₀ (kg.)
1	26.000	4870.294
2	3.000	530.202
3	2.192	387.401
4	2.149	379.801
5	22.256	5762.766
6	22.256	5762.766
7	22.256	5762.766

Cargas totales (CM + CV)

Sección 1 = 99186.717 + 4870.294 = 104057.011 kg.

Sección 2 = 78349.408 + 530.202 = 78879.610 kg.

Sección 3 = 61826.394 + 387.401 = 62213.795 kg.

Sección 4 = 40571.68 + 379.801 = 40951.481 kg.

Sección 5 = 73949.852 + 5762.766 = 79712.618 kg.

Sección 6 = 61987.801 + 5762.766 = 67750.567 kg.

Sección 7 = 84287.457 + 5762.766 = 90050.223 kg.

Carga Total (CM + CV) = 523615.305 kg. ≈ 524 ton.

ESTA TESIS NO PUEDE SER REPRODUCIDA SIN EL CONSENTIMIENTO DEL AUTOR

Cargas Gravitacionales

Fuerzas en la sección 1 = $104057.011 / 24 = 4335.709$ kg/col.

Fuerzas en la sección 2 = $78879.61 / 24 = 3286.65$ kg/col.

Fuerzas en la sección 3 = $62213.795 / 24 = 2592.241$ kg/col.

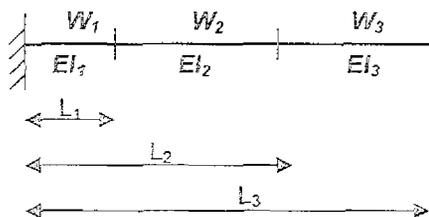
Fuerzas en la sección 4 = $40951.481 / 24 = 1706.312$ kg/col.

Fuerzas en la sección 5 = $79712.618 / 24 = 3321.359$ kg/col.

Fuerzas en la sección 6 = $67750.567 / 24 = 2822.940$ kg/col.

Fuerzas en la sección 7 = $90050.223 / 24 = 3752.093$ kg/col.

Desplazamientos



$$L_1 = 4.2368 \text{ m.}$$

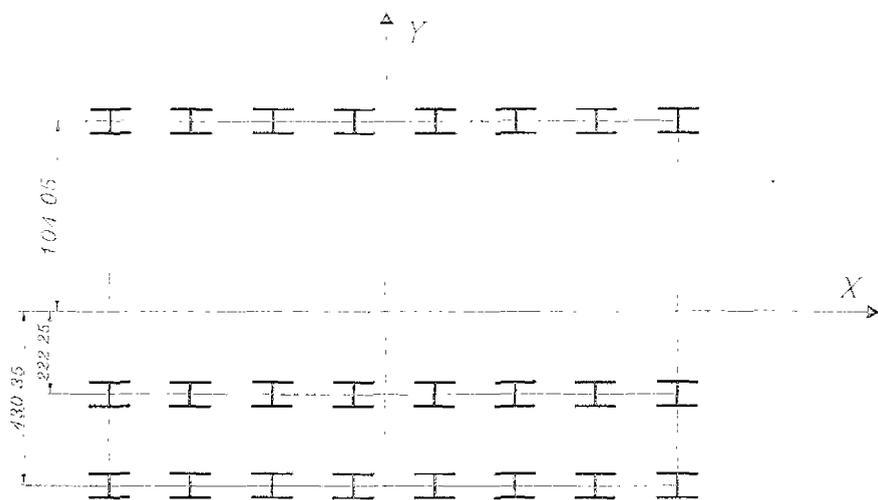
$$L_2 = 8.9353 \text{ m.}$$

$$L_3 = 9.10053 \text{ m.}$$

$$E = 2.1 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta = \int \frac{Mm}{EI} dx$$

$$I = I + Ad^2$$



IR - 40.6x85.1cm y 40.6x132.7cm

$$I_x = 31550 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 54110 \text{ cm}^4$$

$$A = 108.4 \text{ cm}^2$$

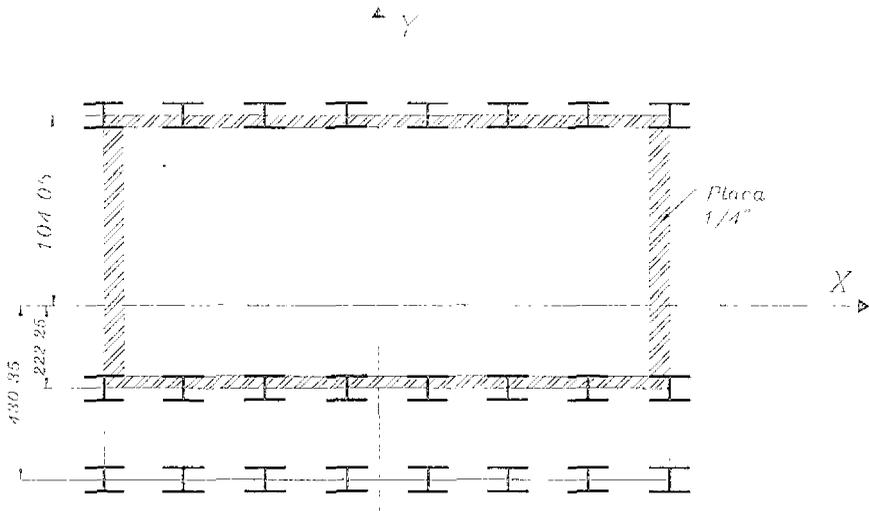
$$I_{x_1} = 8[31550 + (108.4)(430.35)^2] = 160,585,813.432 \text{ cm}^4$$

$$I_{x_2} = 8[54110 + (169)(222.25)^2] = 67,215,004.5 \text{ cm}^4$$

$$I_{x_3} = 8[54110 + (169)(430.35)^2] = 250,824,797.62 \text{ cm}^4$$

$$I_{x_4} = [54110 + (169)(104.05)^2] = 3,767,544.045 \text{ cm}^4$$

$$I_1 = \underline{\underline{482,666,159.597 \text{ cm}^4}}$$



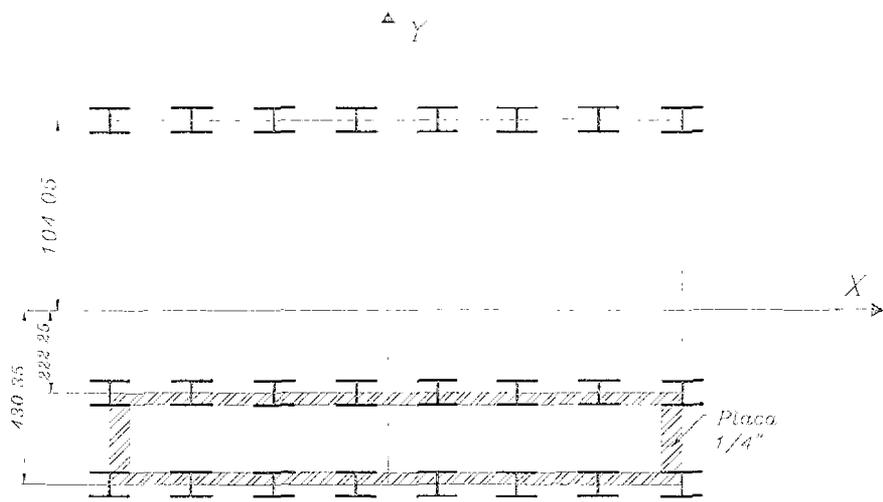
$$I_{x_1} = 8 \left[31550 + (108.4)(222.25)^2 \right] = 43,087,798.2 \text{ cm}^4$$

$$I_{x_2} = 16 \left[31550 + (108.4)(430.35)^2 \right] = 321,717,626.864 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{placa}} = \frac{2103.12(652.6)^3}{12} - \frac{2101.85(651.33)^3}{12} = 313,072,070.5 \text{ cm}^4$$

$$I_{x_3} = \left[313,072,070.5 + (3498.1515)(104.05)^2 \right] = 350,944,466.645 \text{ cm}^4$$

$$\underline{I_2 = 715,749,891.709 \text{ cm}^4}$$



$$A = [(2103.12)(208.1) - (2101.85)(206.83)] = 2933.636 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{placa}} = \frac{2103.12(208.1)^3}{12} - \frac{2101.85(206.83)^3}{12} = 29,677,201.43 \text{ cm}^4$$

$$I_{x_1} = 8[31550 + (108.4)(222.25)^2] = 43,087,798.2 \text{ cm}^4$$

$$I_{x_2} = 16[31550 + (108.4)(430.35)^2] = 321,717,626.864 \text{ cm}^4$$

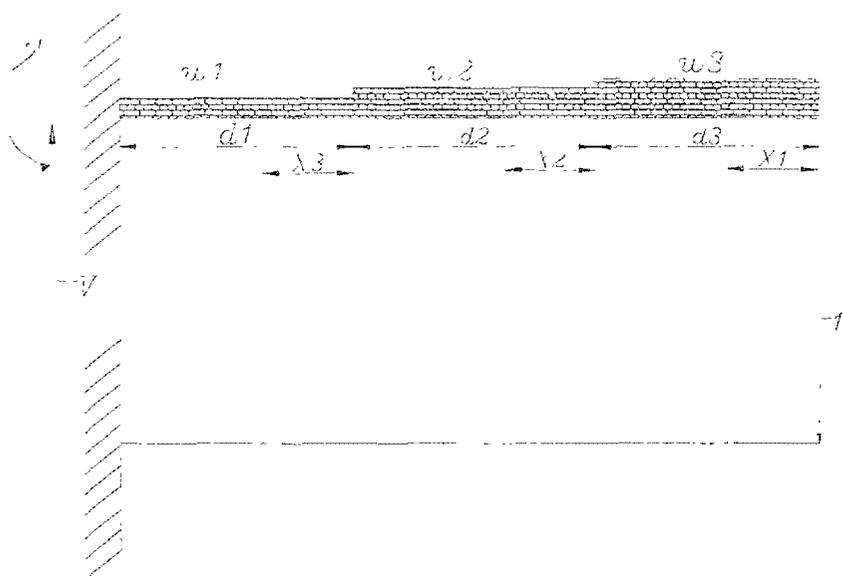
$$I_{x_3} = [29,677,201.43 + (2933.636)(326.3)^2] = 342,026,384.195 \text{ cm}^4$$

$$I_3 = 706,831,809.259 \text{ cm}^4$$

$$w_1 = \frac{\text{Secc.1}}{L_1} = \frac{104057.011}{4.2368} = 24560.284 \text{ kg/m} \Rightarrow 245.6 \text{ kg/cm}$$

$$w_1 = \frac{\text{Secc.2} + \text{Secc.3} + \text{Secc.4}}{L_2} = \frac{182044.886}{8.9353} = 20373.674 \text{ kg/m} \Rightarrow 203.74 \text{ kg/cm}$$

$$w_1 = \frac{\text{Secc.5} + \text{Secc.6} + \text{Secc.7}}{L_3} = \frac{237513.408}{9.10053} = 26098.854 \text{ kg/m} \Rightarrow 260.99 \text{ kg/cm}$$



$$V = 104057.011 + 182044.886 + 237513.408 = 523,615.305 \text{ kg}$$

$$M = 6,014,247.596 \text{ kg} - m$$

$$\delta = \frac{1}{EI} \int_0^{9.10} \frac{w_1 x_1^2}{2} (x_1) + \frac{1}{EI} \int_{9.10}^{18.04} \left(\frac{w_3 d_3^2}{2} + \frac{w_2 x_2^2}{2} \right) (d_3 + x_2) + \frac{1}{EI} \int_{18.04}^{23.29} \left(\frac{w_3 d_3^2}{2} + \frac{w_2 d_2^2}{2} + \frac{w_1 x_3^2}{2} \right) (d_3 + d_2 + x_3) dx$$

$$\delta = 0.016 + 0.440 + 1.538 = 1.994 \text{ cm}$$

$$F = 523615.305 \text{ kg}$$

$$K = \frac{F}{\delta} \Rightarrow \text{Sust. } K = \frac{523615.305}{1.994} = 262,595.439 \text{ kg/cm}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad m = \frac{F}{g} \Rightarrow \text{Sust. } m = \frac{523615.305}{981} = 533.757 \frac{\text{kg} \cdot \text{seg}^2}{\text{cm}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{262595.439}{533.757}} = 22.181 \text{ rad/seg} \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow \text{Sust. } T = \frac{2\pi}{22.181} = 0.283 \text{ seg}$$

Comparando T con T_a ; $T = 0.283$ y $T_a = 0.6$

Por lo tanto como $T < T_a$; se utilizará la fórmula de reducción de ductilidad:

$$Q' = 1 + (Q - 1) \frac{T}{T_a} \quad \text{De la relación } h/b = 1.107 \Rightarrow \xi / Q = 0.33$$

$$\text{Como: } \xi = 1 \Rightarrow Q = \frac{1}{0.33} = 3$$

Sustituyendo:

$$Q' = 1 + (3 - 1) \left(\frac{0.283}{0.6} \right) = 1.943 \approx 2.0$$

$$\phi = \frac{T_b}{T} \Rightarrow \frac{2.90}{0.283} = 10.247$$

FUERZAS SÍSMICAS

Zona Sísmica Tipo = B

Localización = Salamanca Gto.

Estructura Grupo = A

Tipo de Estructura = 6

Tipo de Suelo = III

Como T_b es mayor que T_e , el valor de ϕ es igual a 1.0

$$P_n = 0.95 W_n h_n \frac{\sum_{n=1}^N W_n}{\sum_{n=1}^N W_n h_n} \frac{c}{Q'} \phi \xi$$

W_n = Peso de la masa n

h_n = Altura correspondiente sobre el desplante

c = Coeficiente sísmico

Q' = Factor reductivo de ductilidad

ϕ = T_b/T_e , Factor reductivo que depende de la flexibilidad de la estructura

Datos:

$$\xi = 1.0 \quad \phi = 1.0$$

$$Q' = 2.0 \quad T_e = 0.283$$

$$c = 0.54 \quad T_b = 2.90$$

$$T_a = 0.60$$

W_n (kg)	H_n (mts.)
104057.011	3.0005
78879.610	7.2898
62213.795	10.9474
40951.481	13.1143
79712.618	15.2465
67750.567	18.0943
90050.223	21.5370

Fuerzas Sísmicas correspondientes a cada nivel.

SECCIÓN	PESO (kg)	ALTURA (mts.)	$W_n h_n$	P_n (kg)
1	104057.011	3.0005	312223.062	6465.278
2	78879.61	7.2898	575016.581	11907.007
3	62213.795	10.9474	681079.299	14103.273
4	40951.481	13.1143	537051.645	11120.858
5	79712.618	15.2463	1215326.470	25166.058
6	67750.567	18.0943	1225899.080	25384.988
7	90050.223	21.5370	1939411.650	40159.864
	$\Sigma = 523615.305$		$\Sigma = 6486007.8$	$\Sigma = 134307.326$ kg.

Para el cortante Basal:

$$V = 0.95W \left(\frac{c}{Q'} \right) \phi \xi$$

Sustituyendo:

$$V = 0.95(523615.305) \left[\frac{0.54}{2} \right] (1)(1) = 134307.326kg$$

Distribuyendo las fuerzas sísmicas por secciones en sus columnas correspondientes:

SECCIÓN	DIRECCIÓN	FUERZA (kg.col.)
1	X	2155.093
1	Z	808.160
2	X	3969.000
2	Z	1488.375
3	X	4071.091
3	Z	1762.910
4	X	5560.249
4	Z	1390.107
5	X	12619.517
5	Z	4732.319
6-7	X	19957.056
6-7	Z	7483.896

Una vez obtenidas las fuerzas sísmicas de cada nivel, se calculará el periodo fundamental de vibración con la expresión que señala el manual de Comisión Federal de Electricidad.

$$T_e = \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \tau \left[\frac{\sum_{n=1}^N W_n X_n^2}{\sum_{n=1}^N P_n X_n} \right]^{\frac{1}{2}} ; \text{ para este caso } \tau = 0.75$$

Datos.

$$P = 134307.326 \text{ kg.}$$

$$W = 523615.305 \text{ kg.}$$

$$\delta = 1.994 \text{ cm.}$$

Sustituyendo valores:

$$T_v = \frac{2\pi}{\sqrt{981}} (0.75) \left[\frac{(523614.305)(1.994)^2}{(134307.326)(1.994)} \right]^{1/2} = 0.419 \text{ seg}$$

La fuerza horizontal adicional que actúa en el extremo superior de la estructura, esta dada por la expresión:

$$P_N = 0.05W \frac{c}{Q} \phi \xi$$

Sustituyendo valores:

$$P_N = 0.05(523615.305) \frac{0.54}{2.0} (1)(1) = 7068.810 \text{ kg}$$

La fuerza cortante basal que resulta de los dos estados debe ser igual a $V = W \left(\frac{c}{Q} \right) \phi \xi$

Sustituyendo valores:

$$V = 523615.305(0.27)(1)(1) = 141376.136 \text{ kg}$$

La fuerza cortante basal obtenida anteriormente que es de 134307 326 kg , se le adiciona la fuerza del extremo superior con lo cual se obtiene la fuerza cortante basal total que es de 141376.136 kg

Fuerzas de Viento

- Clasificación = Grupo A
- Estructura Tipo = 1
- Categoría = 3
- Clase de estructura = Clase B
- Zona eólica = E
- Numero de isotaca = 135
- Temperatura = 17.9 °C
- ASNM = 2000 mts.
- Presión Barométrica = 600 mm deHg.

Velocidad de diseño

$$V_D = F_T F_\alpha V_R \quad \therefore \quad F_\alpha = F_c F_{RZ}$$

Para una velocidad regional (V_R) con periodo de recurrencia de 200 años es igual a 125 Km/hr

De la ecuación :

$$F_{Rz} = 1.56 \left(\frac{z}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{donde } \delta = 390m \quad ; \quad \alpha = 0.160 \quad ; \quad z = 3.0005m$$

Sustituyendo:

$$F_{RZ} = 1.56 \left(\frac{3.0005}{390} \right)^{0.160} = 0.716$$

$$F_T = 1.1 \text{ (Sitio expuesto)}$$

$$F_c = 0.95$$

De la ecuación:

$$F_\alpha = F_c \cdot F_{Rz}$$

Sustituyendo:

$$F_u = 0.95(0.716) = 0.680$$

De la ecuación (7):

$$V_D = 1.1(0.680)(125) = 93.5 \text{ Km / hr}$$

Obteniendo la relación H/D

$$\frac{23.29}{6.526} = 3.569$$

El periodo fundamental de vibración del CAFD es igual a 0.419 seg.

∴ Se utilizará el método estático

Calculando la presión dinámica de base qz , de la ecuación (12)

$$qz = 0.0048GV_D^2 \quad \text{donde} \quad G = \frac{0.392\Omega}{273 + \tau} ; \quad \Omega = 600; \quad \tau = 17.9$$

Sustituyendo:

$$G = \frac{0.392(600)}{273 + 17.9} = 0.809$$

$$qz = 0.0048(0.809)(137.5)^2 = 33.967 \text{ kg / cm}^2$$

Calculando la presión actuante de la ecuación (14), donde $C_p = 0.8$

$$pz = 0.8(33.967) = 27.173 \text{ kg / cm}^2$$

Las fuerzas ocasionadas por viento se calculan conforme a la ecuación (15)

$$F_e = pzAz$$

Las áreas correspondientes a cada sección y dirección son:

SECCIÓN	DIRECCIÓN	AREA (m ²)
1	X	19.581
1	Z	63.104
2	X	47.573
2	Z	153.313
3	X	71.443
3	Z	230.237
4	X	85.584
4	Z	275.810
5	X	99.498
5	Z	320.649
6	X	37.654
6	Z	380.545
7	X	44.818
7	Z	452.949

Las fuerzas ocasionadas por viento de acuerdo a la altura y área correspondiente son:

Dirección X

Z (m.)	δ (m)	α	(Km/hr)		(Km/hr)		(Kg/m ²)		Pz	A(m ²)	F _a (kg)
			V _R	F _{RZ}	F _{α}	V _D	G	qz			
3.0005	390	0.16	125	0.716	0.68	93.526	0.809	33.967	27.173	19.581	532.081
7.2898	390	0.16	125	0.825	0.784	107.799	0.809	45.125	36.100	47.573	1717.396
10.947	390	0.16	125	0.880	0.837	115.046	0.809	51.396	41.117	71.443	2937.515
13.114	390	0.16	125	0.907	0.861	118.419	0.809	54.454	43.563	85.584	3728.313
15.246	390	0.16	125	0.929	0.882	121.307	0.809	57.143	45.714	99.498	4548.501
18.094	390	0.16	125	0.954	0.907	124.678	0.809	60.362	48.290	37.654	1818.299
21.537	390	0.16	125	0.981	0.932	128.201	0.809	63.822	51.058	44.818	2288.298

La suma de las fuerzas en esta dirección es igual a 17570.403 kg.

Dirección Z

	(Km/hr)	(Km/hr)	(Kg/m ²)	(Kg/m ²)							
Z (m.)	δ (m)	α	V _R	F _{RZ}	F _w	V _D	G	qz	Pz	A(m ²)	F _e (kg)
0.005	390	0.16	125	0.716	0.68	93.526	0.809	33.967	27.173	63.104	1714.746
2.898	390	0.16	125	0.825	0.784	107.799	0.809	45.125	36.100	153.313	5534.633
0.947	390	0.16	125	0.880	0.837	115.046	0.809	51.396	41.117	230.237	9466.632
3.114	390	0.16	125	0.907	0.861	118.419	0.809	54.454	43.563	275.810	12015.165
5.246	390	0.16	125	0.929	0.882	121.307	0.809	57.143	45.714	320.649	14658.308
8.094	390	0.16	125	0.954	0.907	124.678	0.809	60.362	48.290	380.545	18376.393
11.537	390	0.16	125	0.981	0.932	128.201	0.809	63.822	51.058	452.949	23126.475

La suma de las fuerzas en esta dirección es igual a 84892.352 kg.

Distribuyendo las fuerzas eólicas por secciones en sus columnas correspondientes:

SECCIÓN	DIRECCIÓN	FUERZA (kg/col.)
1	X	177.360
1	Z	214.343
2	X	858.698
2	Z	691.829
3	X	1468.758
3	Z	1183.329
4	X	1864.157
4	Z	1501.896
5	X	1819.217
5	Z	2980.813
6-7	X	1598.724
6-7	Z	4039.334

Una vez obtenidas las fuerzas de viento correspondientes a cada nivel; se aplica el coeficiente de presión exterior C_{pe} , para muros en barlovento y sotavento de construcciones con planta rectangular cerrada.

Cuando se trata de fuerzas de barlovento este factor es positivo, lo cual indica que se trata de un empuje sobre el área en cuestión. En el caso de las fuerzas de sotavento este factor es negativo, lo cual indica una succión. Esto significa que las presiones positivas actúan hacia la superficie y las negativas se alejan de ella.

Para el caso en estudio los valores correspondientes de C_{pe} son :

$$\text{Barlovento} = 0.8$$

$$\text{Sotavento} = -0.2$$

DIRECCIÓN X

DIRECCIÓN Z

SECCIÓN	Barlovento (kg)	Sotavento (kg)	Barlovento (kg)	Sotavento (kg)
1	141.883	-35.471	171.639	-42.910
2	686.920	-171.730	553.382	-138.346
3	1174.785	-293.746	946.737	-236.684
4	1491.410	-372.853	1201.474	-300.368
5	1455.486	-363.872	2384.805	-596.201
6-7	1279.129	-319.782	3231.389	-807.847

DISEÑO DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO TÍPICO

5.1 Interpretación de los resultados obtenidos del programa

El programa cuenta con una serie de códigos para llevar a cabo el diseño estructural de los miembros y sus revisiones de estados límite de servicio.

Los resultados de este análisis muestran que la estructura no cumple con las especificaciones que señalan los reglamentos vigentes, principalmente por desplazamientos, por lo que es necesario realizar la modernización estructural que se requiere para poder garantizar una estructura que cumpla con los lineamientos establecidos.

Una vez que se implementaron los elementos necesarios para la modernización estructural, se llevó a cabo un nuevo análisis en el cual se revisó cada uno de los elementos con las condiciones más críticas de acuerdo a la normatividad vigente, con lo cual se cumplió con los desplazamientos establecidos así como con los estados límites de servicio requeridos.

En la fig 5-1 se muestra la localización de las acciones mencionadas en el cap. 4, con las que se realizó el análisis y diseño estructural del calentador a fuego directo.

En vista de que el archivo de resultados obtenido del programa es muy extenso solo se llevó a cabo una impresión de los aspectos más importantes como son; los esfuerzos, desplazamientos así como de los elementos más críticos figs. 5-2, 5-3, 5-4

Los estados de carga ante los cuales fue analizada y diseñada la estructura son los siguientes:

1. C.M + C.V. (Gravitacionales)
2. Sismo en dirección X
3. Sismo en dirección Z

4. Viento en dirección X
5. Viento en dirección Z
6. $(C.M + C.V.) + 100\%$ Sismo X + 30% Sismo Z
7. $(C.M + C.V.) + 30\%$ Sismo X + 100% Sismo Z
8. $(C.M + C.V.) +$ Viento X
9. $(C.M + C.V.) +$ Viento Z

5.2 Criterios de evaluación

Las estructuras de plantas industriales son demasiado variadas y diferentes entre sí como para establecer criterios de evaluación de carácter general. Por lo que en las recomendaciones que se presentan para estructuras industriales están limitadas en su alcance, a continuación se presentan algunos criterios de evaluación aplicables a estas estructuras.

- Se revisará la seguridad de cada elemento estructural para la condición mas desfavorable que resulte de considerar la acción de cada uno de sus componentes horizontal y vertical por separado, o para la combinación del 100 por ciento de uno de sus componentes horizontales mas el 30 por ciento del otro componente horizontal con 0.7 de los efectos del componente vertical, para la condición de signos mas desfavorable.
- En cada elemento se tendrán en cuenta todas las deformaciones que afecten seriamente los desplazamientos y esfuerzos de diseño.
- Se tendrán en cuenta las deformaciones locales del terreno y las debidas al las fuerzas gravitacionales que actúan en la estructura deformada, cuando los efectos de segundo orden sean significativos.
- Se verificará que las deformaciones en los sistemas estructurales, sean compatibles entre sí. Se revisará que todos los elementos estructurales incluyendo los arriostramientos de los sistemas de piso o cubierta, sean capaces de resistir los esfuerzos inducidos por las fuerzas sísmicas.

5.3 Revisión de los estados límite de servicio

Los estados límite de servicio corresponden a etapas de deformaciones, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la estructura o sus instalaciones pero no la capacidad para soportar cargas.

Los desplazamientos laterales calculados teniendo en cuenta la reducción por ductilidad se multiplicaran por el factor de comportamiento sísmico Q , para verificar que la estructura no alcanza ninguno de los estados límite de servicio siguientes:

1. Desplazamientos laterales: se deberán revisar los desplazamientos horizontales de la estructura, partes y equipo que lo ameriten, debido a las fuerzas inducidas por sismo. Los desplazamientos laterales relativos de entrepiso o piezas de equipo se limitarán a 0.006 veces la diferencia de elevaciones correspondientes de acuerdo con lo que se requiera para evitar daños en dichos elementos. Será necesario limitar los desplazamientos laterales sísmicos par evitar choques entre estructuras contiguas. En el cálculo de desplazamientos se tomará en cuenta la rigidez de todo elemento que forme parte integrante de la estructura.
2. Choques contra estructuras adyacentes: Toda estructura deberá separarse de cualquier estructura vecina a una distancia mínima de 5 cm., pero no menor que la suma de los valores absolutos de los desplazamientos máximos calculados para ambas construcciones, ni menor que 0.008 de la altura de la construcción más baja. Estas separaciones pueden reducirse si se toman precauciones especiales par evitar daños por choques contra estructuras adyacentes.

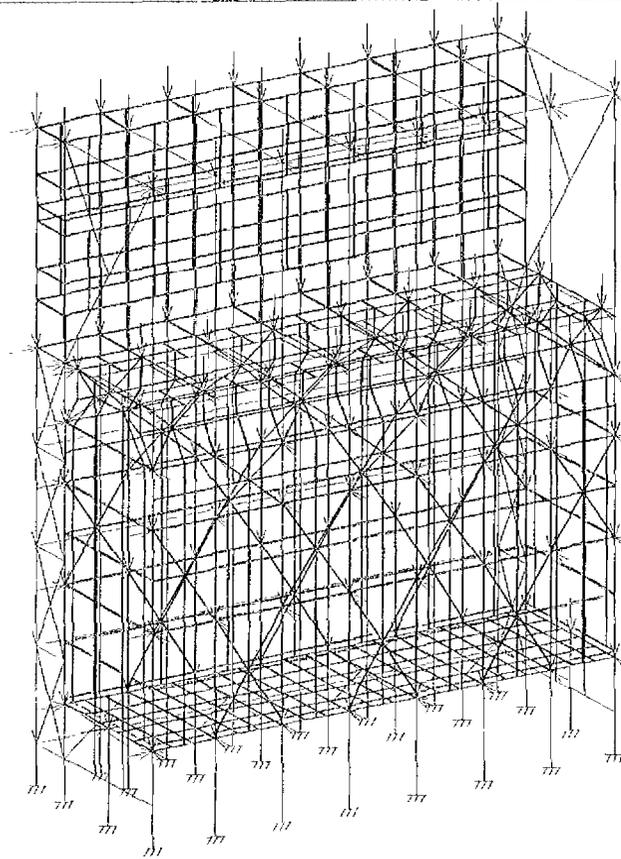
LOAD= 7

MM/CEM

STRUCTURE DATA

TYPE SPACE
N1 = 976
NM = 1764
NE = 774

XMAX = 69.0
YMAX = 76.4
ZMAX = 20.2



UNIT FL KI

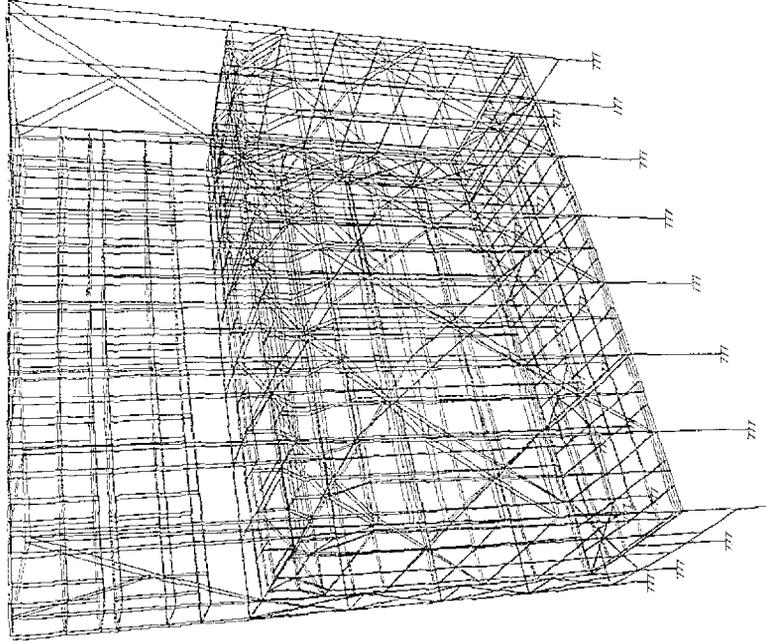
STANDARD PRE-PLLOT (REVISION 21.1)

DATE: MAR 6, 2000

TITLE: CALENTADOR ATMOSFERICO

fig. 5-1 Ubicación de las cargas aplicadas

MIN/11.11
SCDR LOAD= 7



J=070, H=176.4, L=27.4

UNIT: CM - KG

STRUCTURE DATA

TYPE = SPACE
NJ = H/0
NR = 1764
NE = 774
NS = 20
NI = 0
XMAX = 2105.1
YMAX = 3378.0
ZMAX = 80.7

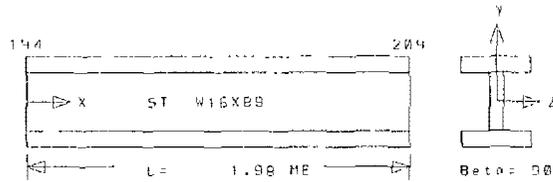
STADPOST - PLOT (REV: 21.1W)

DATE: MAR 6, 2000

TITLE: "CALENTADOR ATMOSFERICO"

Fig. 5-3 Desplazamientos en la estructura

STEEL DESIGN PER AISC-89 FOR MEMBER: 378

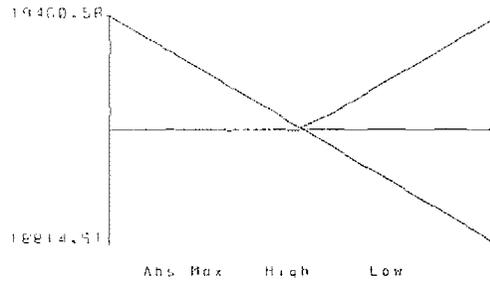


STRESSES (KIP. INCH)

YLU= 38.00 FA= 19.04
 FCZ= 23.76 FTZ= 23.76
 FCY= 27.00 FTY= 27.00
 FT= 21.60 FV= 14.40

DESIGN SUMMARY- YIP,FFCI

Result = PASS
 Critical Condition = AISC- H2-1
 Ratio = 0.01
 FX = 155.721
 MY = 6.31
 MZ = 130.53
 Load = 3
 Location = 6.51



Maximum Force/Moment Summary, Units (MET,KG)

	Axial	Shear Y	Shear Z	Moment Y	Moment Z
Value=	-38464.80	19203.51	-1357.94	769.11	19460.58
Location=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Loading=	7	7	7	7	7

S T A A D P L - Q U E R Y (REV: 21,1)

DATE: MAR 6, 2000

TITLE: CALENTADOR ATMOSFERICO

fig. 5-4 Diseño y revisión del elemento más crítico

ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA MODERNIZACIÓN

3.1 Justificación del costo que implicaría el no cambiar el equipo

Entre todos los equipos que existen dentro de las unidades de proceso y de fuerza, sin lugar a dudas los que están expuestos a condiciones más severas de operación son aquellos sujetos a fuego directo.

La unidad de destilación atmosférica fue diseñada en 1955 para procesar 54,690 BDP (Barriles Por Día) de crudo poza rica enriquecido con ligeros.

Posteriormente se le hicieron modificaciones para aumentar su capacidad a 60,000 BPD.

La función de la unidad es efectuar el fraccionamiento eficiente de crudo para la obtención de gasolina atmosférica, gasolina ligera, nafta pesada, base turbosina, kerosina, gasóleo ligero, gasóleo pesado y residuo primario atmosférico.

El tipo de proceso consiste en la destilación atmosférica del crudo con agotamiento lateral de productos previo desalado y despunte de la carga.

El equipo opera durante 330 días al año teniendo un factor de servicio de 0.90, la capacidad a la que opera el equipo actualmente es de 60,000 BPD.

Es por ello que independientemente de la atención que se le proporcione durante los paros para reparación, es imprescindible dar un seguimiento a su condición física durante las corridas operacionales, mediante la inspección periódica de todas sus partes y revisión frecuente de los datos operacionales obtenidos por medio de instrumentación con que están equipados, para tomar las acciones correctivas necesarias y evitar su deterioro anticipado.

El departamento de Inspección Técnica y Seguridad Industrial es el que se encarga de revisar periódicamente las condiciones en las que se encuentra operando el calentador, tanto estructurales como de tubos, quemadores, refractario, ductos de gases, etc.

La aplicación de esta revisión es obligatoria en todas las dependencias de Pemex-Refinación, por lo que en el caso de que el departamento realizara una evaluación estructural general del calentador de acuerdo a lo lineamientos que marca la reglamentación vigente, y se llegara a dictaminar que el calentador no cumple con estos lineamientos tendría que ser emplazado, lo cual implicaría un costo demasiado elevado ya que el calentador produce 60,000 BPD tomando en consideración que el valor por barril es de 14.92 dls. El costo que implicaría el no cambiar el equipo sería de 895,200 dls., lo cual es un costo muy superior al que tendría la modernización estructural correspondiente.

6.2 Costo de actualización

El costo de actualización consiste básicamente en cuantificar la cantidad de material que se utilizó para reestructurar el calentador, y una vez obtenida dicha cuantificación en kg. Evaluar su costo de acuerdo al precio vigente que existe de acero A-36 habilitado.

En la tabla 6-1 se muestran las características de los elementos que forman parte de la modernización estructural.

Tabla 6-1

ELEMENTO	LONGITUD (mts.)	CANTIDAD	PESO (kg)
W-16 X 89 (132.7 kg/m)	2.8956	8	3073.970
W-16 X 89 (132.7 kg/m)	3.048	20	8089.390
LD-6 X 4 X ½ (24.11 kg/m)	3.627	8	699.580
LD-6 X 4 X ½ (24.11 kg/m)	5.100	12	1475.530
LD-6 X 4 X ½ (24.11 kg/m)	4.761	8	918.310
LD-6 X 4 X ½ (24.11 kg/m)	4.665	8	899.790
LD-6 X 4 X ½ (24.11 kg/m)	3.740	12	1082.100
LD-6 X 4 X ½ (24.11 kg/m)	3.596	8	693.600
LD-6 X 4 X ½ (24.11 kg/m)	3.720	8	717.520

$$\Sigma = 17649.790\text{kg}$$

Una vez obtenido el peso total de acero que se utilizará en la modernización estructural, se evalúa el costo que implicaría, debido a que el peso total está por debajo de los 20,000 kg., el precio cotizado por kg. de acero habilitado es de 4.22 dls.

Peso total = 17649.790 kg.

Costo kg. = 4.22 dls/kg.

Costo total = $(17649.790) \times (4.22) = 74,482$ dls.

El costo total que implicaría realizar la modernización estructural al calentador a fuego directo atmosférico es de 74,482 dls.; con este costo queda justificado que es mucho menor que el que se obtendría en el caso de que el calentador fuera emplazado por no cumplir con los requerimientos de seguridad y funcionalidad.

CONCLUSIONES

En nuestro país, la industria petrolera forma parte fundamental dentro de la economía nacional, es por ello que es de suma importancia mantener en buen estado la funcionalidad de los equipos en los cuales se desarrollan los procesos de transformación (petróleo) en los diferentes insumos que se requieren día con día en el país. Debido a que estos equipos fueron construidos a principios de los años 60's con normatividades y reglamentos que ya no son vigentes hoy en día, y aunado al gran incremento que se ha venido generando en el consumo de energía, es importante revisar periódicamente estos equipos en cuanto a seguridad estructural se refiere.

Esta investigación se desarrolla con base en estas necesidades con el fin de obtener de manera directa cual es el costo real de materiales que se requieren para modernizar un Calentador a Fuego Directo del Tipo Atmosférico, el cual debido a su importancia dentro de la línea de producción debe de estar en condiciones estructurales favorables, estos equipos están formados por acero estructural A-36 y placa de acero estructural, por lo que el material a emplear en la modernización será el mismo.

Se realizó un análisis y diseño estructural con el programa STAAD III del Calentador como se encuentra actualmente estructurado y basándose en los valores obtenidos en los elementos mecánicos y diagramas de esfuerzos fue claro que no cumple con los lineamientos que señala el Reglamento de la Comisión Federal de Electricidad (Sismo) en cuanto a desplazamientos y estados límite indicados en él, con lo cual se justifica la necesidad de modernizar estructuralmente el Calentador para que cumpla con los lineamientos del Reglamento anteriormente citado.

Para llevar a cabo el análisis de la estructura se utilizó la condición de carga (CM+CV+30% SISMO X+100% SISMO Z) debido a es la mas desfavorable ya que la geometría del Calentador origina que esta sea la mas crítica, las combinaciones de carga fueron basándose en las que señala el Reglamento de la Comisión Federal de Electricidad (Sismo y Viento)

La propuesta de modernización empleada fue la de rigidizar el Calentador con la implementación de contraventeos y algunas vigas IR en la parte de convección la cual presentaba problemas de relaciones de esbeltez, originados por la disposición de sus soportes que eran de una sola pieza, la ubicación de los elementos propuestos se apega a los manuales de estructuración de Petróleos Mexicanos.

Una vez implementados estos elementos, se llevó a cabo un segundo análisis con el que se obtuvieron nuevos valores en elementos mecánicos y diagramas de esfuerzos, con los que se revisaron nuevamente todos sus elementos ante desplazamientos y estados límite, resultando aceptables los valores por estar dentro de los lineamientos citados.

La cuantificación del material en este caso Acero estructural A-36, se hizo basándose en el precio actual por Kg. de acero estructural habilitado, por lo que otros costos como son los de mantenimiento y operación no se consideran debido a que el Calentador cuenta con un recubrimiento interior de material refractario el cual a su vez evita que la corrosión este en contacto directo con el acero estructural.

Finalmente se concluyo que basándose en la comparativa de costos señalada en le capitulo 6, es claro que el costo que tendría el Calentador en caso de ser emplazado por no cumplir con los lineamientos que señala la Comisión de Inspección y Seguridad Industrial (895,200 dls.), Y el costo que implica él modernizarlo estructuralmente (74,482 dls.) Estamos hablando de un 8.3% del costo por emplazamiento.

Por lo que esta investigación es de gran utilidad para Petróleos Mexicanos, ya que este tipo de equipos son fundamentales dentro de la línea de producción y todas las refinerías que existen en nuestro país cuentan con un gran número de ellos.

Posteriormente se pueden llevar a cabo otro tipo de estudios enfocados a la seguridad de estos equipos como son de mecánica de suelos, análisis dinámico, iteración suelo-estructura, con los cuales se tendrá un panorama más amplio del comportamiento de este tipo de estructuras.

BIBLIOGRAFÍA

1. Herbert L. Berman, "*Finding the Basic Design for your Application*", Caltex Petroleum Corporation, U.S.A. (Julio 1983), pp. 35-63.
2. Kreith Frank, "*Principios de Transferencia de Calor*", Herrero Hermanos Sucesores, México (Mayo 1981), pp.18-29.
3. American Petroleum Institute, "*API Stándar 560 Fired Heater* ", U.S.A. (Agosto 1995), pp. 541-560.
4. Comisión Federal de Electricidad, "*Manual de Diseño por Sismo*", México(1993)
5. Comisión Federal de Electricidad, "*Manual de Diseño por Viento*", México(1993)
6. American National Estándar Institute, "*Design loads*", U.S.A. (1987), pp. 16-25.
7. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, "*Manual de Construcción en Acero*", México (1989)
8. American Institute of Steel Construction, "*Manual de Construcción en Acero*", U.S.A. (1987)
9. Research Engineers , "*Manual de Referencia del Programa STAAD III V. 22.3*" U.S.A. (1998)
10. Frederick S. Merrit, "*Manual del Ingeniero Civil (Tomo II)*", Mc Graw Hill 3ª Ed. México (1997)
11. Bruce G. Johnston, F. J. Lin T.V. Galambos, "*Diseño Básico de Estructuras de Acero*", Prentice Hall 3ª Ed. Mexico (1992), pp-15-24, 56-75.
12. Mc cormack, "*Diseño de Estructuras Metálicas*", Alfaomega 7ª Ed. México (1993), pp-25-41.