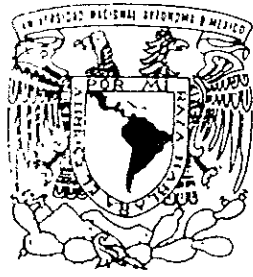


Lej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE QUIMICA

INGENIERIA CONCEPTUAL PARA EFICIENTAR UN CALENTADOR A FUEGO DIRECTO ESTABLECIENDO UNA METODOLOGIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO

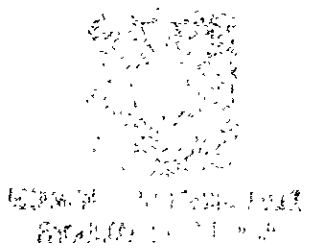
P R E S E N T A

JOSE ALBERTO MANZANO LIRA



MEXICO, D. F.

1999



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Handwritten signature



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.

Q

/

P

Jurado asignado:

- Presidente Prof. MARTÍNEZ MONTES JORGE TRINIDAD.
- Vocal Prof. ARNAUD HUERTA RAMÓN.
- Secretario Prof. ORTÍZ RAMÍREZ JOSÉ ANTONIO.
- 1er. suplente Prof. LÓPEZ MARTÍNEZ JOSÉ LUIS.
- 2do. suplente Prof. RODRÍGUEZ RIVERA FERNANDO DE JESÚS

Sitio donde se desarrolló el tema

Oficina Central del Sector Energético de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía CONAE

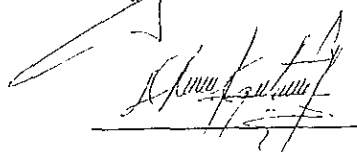
Asesor del tema

I.Q. JOSÉ ANTONIO ORTÍZ RAMÍREZ



Supervisor técnico

M. en C. DAVID GUTIÉRREZ CRUZ



Sustentante

JOSÉ ALBERTO MANZANO LIRA



DEDICO ESTA TESIS A:

Dios gracias por absolutamente todo, gracias por bendecirme tanto

Mis Padres **Luis Manzano G.** y **Sara Lira G.**, sin ustedes todo esto no sería posible, Dios los bendiga siempre, los amo.

Mi Hermana **Johana**, mi Tía **Ma. Luisa**, mi Abuelita **Guadalupe[†]**, han sido aliento a mi vida toda mi vida, siempre estarán en mi corazón

Todos mis **Tíos, Tías, Primos y Primas**, por parte de mi papá y mamá, son una gran familia, gracias por creer en mi.

Mis Amigos **Miguel, Víctor, Luis**, siempre fueron los peores en todo pero los mejores cuates, **Bety, Aritzaí, Juan, Dimas, Patricia, Sergio, Enrique, Oswaldo, Armando**, gracias por su amistad, **Pedro, Laura, Marcos, Ivonne** nunca los olvidare, **Pedro Albarrán** donde quiera que estes, **Imelda Ramírez** la mejor "Doña" que he conocido, Dios la bendiga, y a todos aquellos **amigos** que no los menciono pero cuando los recuerdo me hacen sentir bien.

Nayeli, todo lo que me inspiras, no cabría en una dedicatoria, ni en $1 \times 10^{\infty}$ dedicatorias, ni en una tesis, ni en $1 \times 10^{\infty}$ tesis, pero todo eso si se puede resumir en dos palabras, te amo.

CONAE. por ser la institución que me dio la oportunidad de realizar el presente trabajo

Los Ingenieros **David Gutiérrez, Eduardo Valdivieso, Angeles Peña, Francisco Mendoza, José T. Lugo**, por su apoyo y consejos muy significativos en mi vida profesional.

Mi Asesor **J. Antonio Ortíz**, su paciencia y sencillez permitieron llegar a buen fin la presente tesis

La **UNAM** por ser la mejor institución educativa que ha existido.

México, por ser mi tierra y mi patria.

"No temas por que yo estoy contigo, no desmayes porque yo soy tu Dios que te esfuerzo, siempre te ayudare, siempre te sustentaré con la diestra de mi justicia."

Isaías 41:10



CONTENIDO

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN	1
GENERALIDADES	4
ESTRATEGIAS PARA EL DERARROLLO DEL DIAGNÓSTICO	17
DIAGNOSTICO ENERGÉTICO	45
EVALUACIÓN ECONÓMICA	80
RECOMENDACIONES	89
ANEXO I	103
ANEXO II	110
ANEXO III	125
CUESTIONARIOS	136



Objetivos:

Ofrecer un procedimiento de fácil aplicación para evaluar cuantitativa y cualitativamente la energía que se disipa en estos equipos.

Evaluar su eficiencia térmica.

Identificar los potenciales de ahorro energético y definir medidas por aplicar las que podran ser evaluadas técnica y económicamente.



INTRODUCCIÓN



Introducción.

Uno de los equipos principales en instalaciones industriales de procesamiento y transformación de petroquímicos líquidos y gaseosos, son los calentadores a fuego directo, equipos que tienen como función principal suministrar la energía térmica requerida por los procesos, entre otros.

- ♦ Fraccionar los cortes de hidrocarburos en destilación atmosférica y de vacío
- ♦ Vaporizar la alimentación en reactores.
- ♦ Proporcionar los requerimientos térmicos en columnas de fraccionamiento.
- ♦ Calentar algún fluido térmico

La función fundamental de un calentador, es suministrar una cantidad específica de calor a niveles elevados de temperatura al fluido que va a ser calentado, es por eso que consumen grandes cantidades de energía en forma de combustible. En un calentador a fuego directo el calor liberado de la combustión que se realiza dentro de una cámara aislada, se transfiere a elevadas temperaturas a un fluido que se encuentra en el interior de un serpentín de tubos que comúnmente se colocan a lo largo de las paredes y techo de la cámara de combustión

Como concepto general, la eficiencia térmica es definida como la razón entre el calor absorbido por la corriente de proceso y el calor liberado por el combustible.

En los calentadores a fuego directo se presentan pérdidas de energía, por diversas causas, y por ello es de vital importancia detectar puntos de optimización energética que coadyuven a la eficientización de la operación del calentador así como el consumo de energía (combustible), apoyándose para ello en un análisis energético, el cual, generalmente, derivará recomendaciones que implicarán un ahorro energético económico, además de disminuir la contaminación ambiental.

La ingeniería conceptual (que es la ingeniería que se pretende desarrollar en esta tesis), se podría definir como la ingeniería prototipo que pudiera modificar un equipo ya existente o mostrar alternativas para su mejor funcionamiento, así como si es que se requiere, trazar las bases para desarrollar una ingeniería más profunda en el diseño de un calentador. Por hacer un símil, un pintor establece un bosquejo preliminar para desarrollar su obra de arte, no empieza con los colores y la sombras, la ingeniería conceptual pretende lo mismo, hacer un bosquejo del sistema para después profundizar en los detalles.

El presente trabajo abarca los siguientes aspectos:

En las generalidades se menciona en forma global las características principales de los calentadores a fuego directo así como su clasificación



En el apartado de estrategias para el diagnóstico se describe todo el procedimiento para la recopilación de información que será de utilidad para la evaluación cuantitativa y cualitativa del equipo

En el apartado de diagnóstico energético se describe el procedimiento para realizar el balance energético junto con la cuantificación de la eficiencia, estos parámetros serán base en la detección de puntos de oportunidad para el ahorro energético adicionalmente se efectúa un ejemplo de un caso típico en la industria

En el apartado de evaluación económica se describe el procedimiento para cuantificar económicamente las medidas de ahorro que sean de inversión efectuando un ejemplo que es la continuación del apartado de diagnóstico energético

En el apartado de recomendaciones se dan los principales puntos a considerar en la operación de un calentador a fuego directo

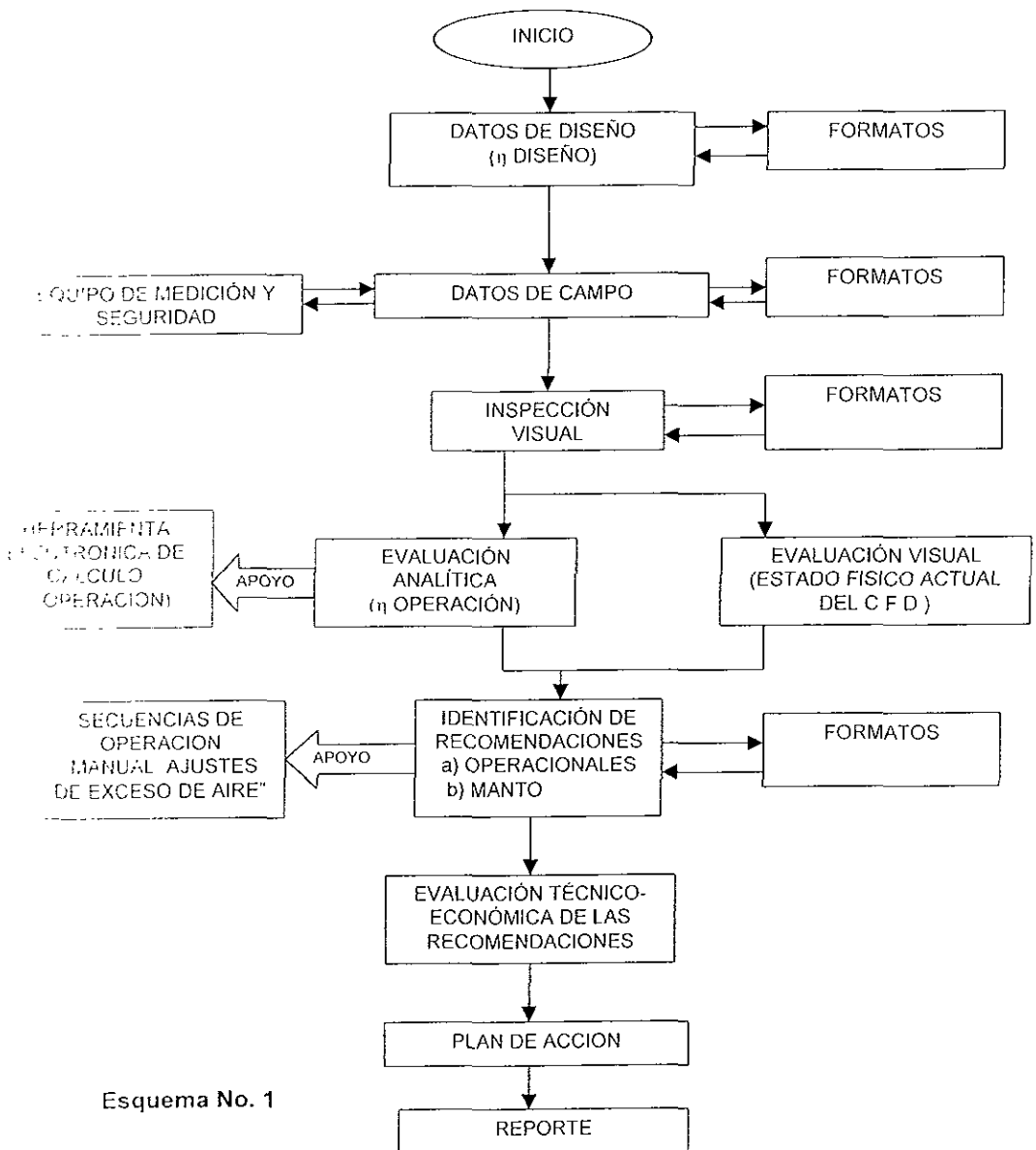
En el esquema No. 1 se muestra la secuencia propuesta a seguir para la obtención de un diagnóstico energético en un calentador a fuego directo, este esquema es el esqueleto de la presente tesis.



GENERALIDADES



SECUENCIA GENERAL PARA EVALUACIÓN ENFRGÉTICA



Esquema No. 1



Generalidades

i Categoría de servicio de los calentadores

La industria que requiere en sus procesos calentadores a fuego directo divide su aplicación en seis (6) categorías de servicio general, los cuales son:

1 - Rehervidor.

En esta aplicación particular, la temperatura de salida de un rehervidor generalmente cae en el rango de los 204 a 288°C (400 a 550°F).

2 - Calentador de carga a columnas fraccionadoras

Se refiere al servicio de un calentador de alimentación a una columna de destilación atmosférica, donde el aceite crudo entra al calentador como un líquido a 232°C (450°F) y sale cerca de los 371°C (700°F)

3 - Calentador de carga a reactores

En este caso se trata del calentamiento de un componente individual, fase sencilla como el sobrecalentamiento de vapor en las secciones de reacción del proceso de elaboración de productos petroquímicos. En estos servicios, la temperatura de entrada del fluido típicamente es de 371°C (700°F) y su temperatura de salida de aproximadamente 815°C (1500°F).

4 - Calor suministrado para medio de transferencia de calor

Muchas plantas suministran calor a usuarios individuales, vía un medio de transferencia de calor intermedio. Para este servicio el empleo del calentador se utiliza para elevar la temperatura del medio recirculante, que es típicamente un aceite de calentamiento, (Dowtherm, Terminol, Molten Salt, etc).

Los fluidos que circulan a través del calentador en estos sistemas, casi siempre permanecen en fase líquida desde la entrada hasta la salida.

5 - Calor suministrado a fluidos viscosos

Con frecuencia el aceite pesado debe ser bombeado desde un lugar a otro para su proceso. A bajas temperaturas el aceite puede tener una viscosidad demasiado alta para ceder al bombeo, por lo que es empleado un calentador para elevar la temperatura del aceite y así, facilitar su bombeo



6 - Calentadores reactores

Calentadores reformadores de hidrocarburos - vapor, en los cuales los tubos de la cámara de la combustión funcionan individualmente como recipientes de reacción verticales llenos con catalizadores de níquel. En reformadores que producen hidrógeno, las temperaturas de salida del fluido varían de 788 a 899°C (1450 a 1650°F)

II Clasificación de calentadores de acuerdo al arreglo de los tubos del serpentín

Los calentadores a fuego directo se pueden clasificar de acuerdo a su forma, en horizontales y verticales esto debido a la orientación del serpentín en la sección de radiación

- a) Cilíndrico – vertical, todo radiante
- b) Cilíndrico – vertical, serpentín helicoidal
- c) Cilíndrico – vertical, con convección (flujo cruzado)
- d) Cilíndrico – vertical con convección integral
- e) Arbor o wicket
- f) *Tubos verticales con doble fuego*
- g) Cabina con tubos horizontales
- h) Caja de doble celda con tubos horizontales
- i) Cabina con tubos horizontales y pared divisoria
- j) De caja con tubos horizontales y quemadores en las paredes
- k) Caja con tubos horizontales y quemadores en las paredes,
con sección de convección montada a un lado.
- l) De tubo horizontal, de doble fuego.

En las figuras No 1, 2, 3 y 4 se muestran los tipos de calentadores a los cuales nos referimos en los puntos anteriores, así como sus principales características

III Componentes de los calentadores.

Las secciones y partes que integran un calentador a fuego directo son idénticas para ambos tipos, vertical y horizontal, en la figura 5 se indican las partes constitutivas de un calentador tipo caja con serpentín horizontal, mientras que en la figura 6 se indican las partes para un calentador vertical con sección de convección



GENERALIDADES

A continuación se presenta una descripción de dichas secciones y partes

Sección de convección - Es la sección de transferencia de calor directamente localizado debajo de la chimenea, utilizando el calor ascendente de los gases calientes de la combustión. En esta zona los tubos están en forma horizontal tanto para calentadores verticales como horizontales.

Sección de radiación - Es la mayor parte que utiliza el calor radiante de los quemadores. Aunque en algunos calentadores el calor de la flama de los quemadores se dirige hacia un muro cerámico el cual irradia calor a los tubos, normalmente los tubos reciben el calor directamente de los quemadores.

Quemadores - Es la parte del calentador el cual quema el combustible gas o líquido, en ocasiones ambos, produciendo una flama de calor intenso. Los quemadores son normalmente instalados al piso de los calentadores. Sin embargo algunos calentadores horizontales pueden tener los quemadores montados lateralmente. El número y tamaño de quemadores son determinados por el proveedor de acuerdo al uso del calentador.

Polea de Reemplazamiento - Solo para calentadores verticales. Es un anillo colocado arriba de la chimenea utilizado para reemplazar los tubos. Actualmente distintas compañías utilizan equipo móvil para el reemplazo de los tubos. Pocos calentadores tienen esta polea.

Polea de pintores - Es un anillo cercano a la parte superior de la chimenea con una extensión de cable de acero estirado a nivel de piso el cual es utilizado cuando se pinta la chimenea.

Chimenea - Es la parte cilíndrica usada para transportar los gases de combustión a la atmósfera, y al mismo tiempo produce un tiro a los quemadores. La altura de la chimenea es determinada por el tiro requerido y demandas ecológicas (el quemar gas es relativamente limpio, ya que el combustible líquido produce humos). Las chimeneas pueden ser montadas sobre la parte superior del calentador o pueden montarse al piso con ductos grandes para dirigir los gases de combustión hacia ellas. En áreas densamente pobladas, a menudo algunos calentadores tienen ductos que llegan a una chimenea común montada a piso la cual puede ser de 300 pies de



	altura o más. Con este diseño la chimenea es normalmente de concreto.
<i>Mampara (damper) -</i>	Es un plato plano de acero localizado directamente arriba de la sección de convección, conectado a una flecha y una rueda de acero. Los cables de control están a nivel de piso para disponer la operación y regular el tiro del quemador por abertura o cierre de la mampara. Las mamparas pueden ser conectadas para trabajar automáticamente.
<i>Conexion del manometro de tiro -</i>	Normalmente son coples localizados justo debajo de la mampara y en la sección de radiación, cercano a los quemadores. Es un instrumento de diferencial de presión, llamado manómetro de tiro, para esto es conectado a dos coples para medir el tiro del quemador.
<i>Conexion vapor de apagado -</i>	Normalmente es un cople de 2 pulgadas localizada en ambas secciones. El vapor es usado para extinguir (por sofocamiento) las flamas. Si la ruptura de un tubo causa fuego, una válvula de detección es abierta para introducir el vapor dentro del calentador. En los calentadores grandes existen muchas conexiones de este tipo.
<i>Transicion chimenea (puente) -</i>	Es la sección fabricada bajo la chimenea, efectuándose la transición de la forma rectangular del calentador a la chimenea cilíndrica. Es además usado bajo la sección de convección para reducir el área de flujo entre dos partes rectangulares.
<i>Puertas de acceso -</i>	Son puertas que proporcionan la entrada al calentador para inspeccionar los tubos o hacer reparaciones. El acceso a las puertas debe mantenerse limpio.
<i>Anillos de soportes de tubos -</i>	El anillo que soporta los tubos en un calentador vertical. La figura 6 muestra estos anillos en la parte superior. Sin embargo los tubos pueden ser soportados desde abajo. Frecuentemente los diseños de tuberías pueden tener los anillos de soporte de tubos localizados para adaptarse a la expansión de tubería, ayudando a aliviar los problemas de tensión o presión.
<i>Caja de cabezales -</i>	Sección al final de los tubos en la parte de radiación los cuales pueden girar 180°. Las puertas son móviles para



GENERALIDADES

la inspección y no deben ser obstruidos por tuberías.

Guías de tubos -

Situados directamente en los tubos para mantenerlos en el giro de estos (en forma ondulada) solo en los calentadores verticales. En los calentadores horizontales los soportes de los tubos también sirven como guías.

Anclaje de tubos -

Es el punto del tubo donde se encuentra sujeto o anclado, se aplica principalmente a los calentadores horizontales.

Puertas de observación.-

Son pequeñas puertas abiertas por operadores para ver el tamaño y color de flama y el brillo del tubo. Las válvulas de control de los quemadores deberán ser localizadas cercas de estas puertas para poder regular el flujo del combustible mientras se observa la flama del quemador. Dichas puertas pueden ser localizadas en la pared del calentador y no deben ser obstruidas por tubería. Son comúnmente llamadas mirillas del calentador.

Piso del quemador.-

Plato de acero del fondo de calentadores verticales y horizontales.

Piloto de gas.-

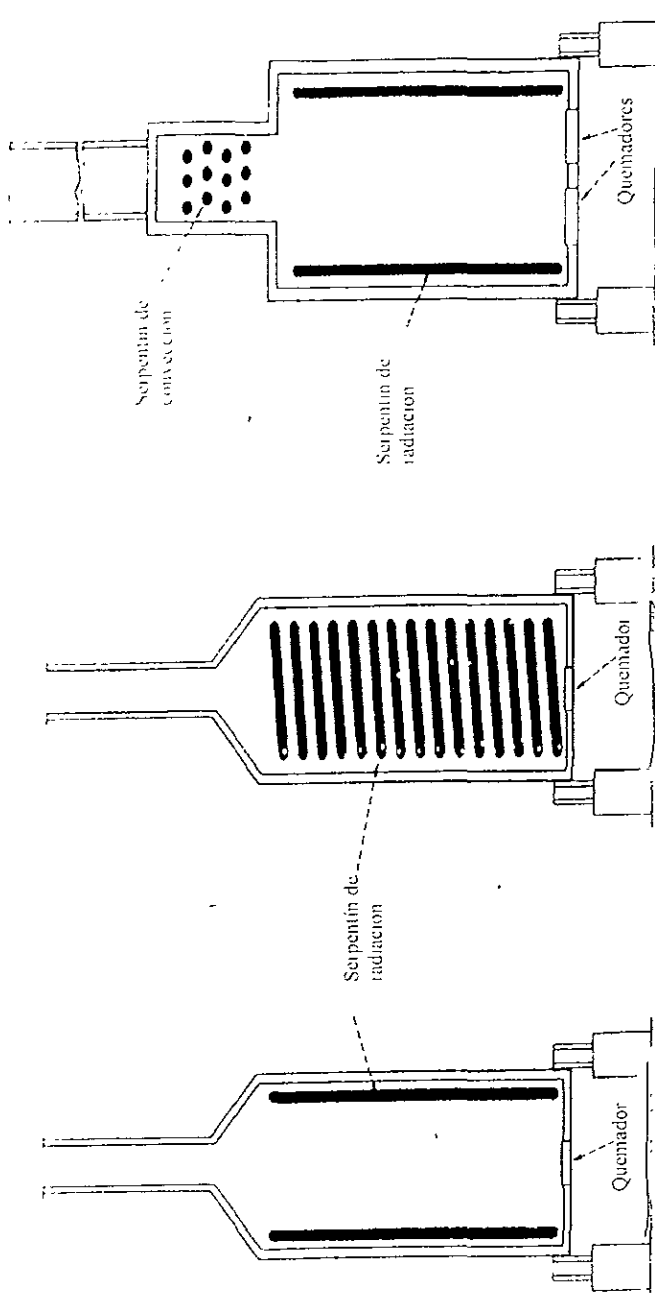
Es una flama pequeña y constante que inicia el quemado del combustible.

Uniones de paso (crossovers) -

La tubería que conecta a los tubos de convección con los tubos de radiación, pueden estar localizados dentro o fuera de la caja del calentador. Las conexiones externas deben ser aisladas. Dicha tubería de unión es normalmente (no siempre) proporcionada por el proveedor del calentador, aunque raramente proporciona el aislamiento.

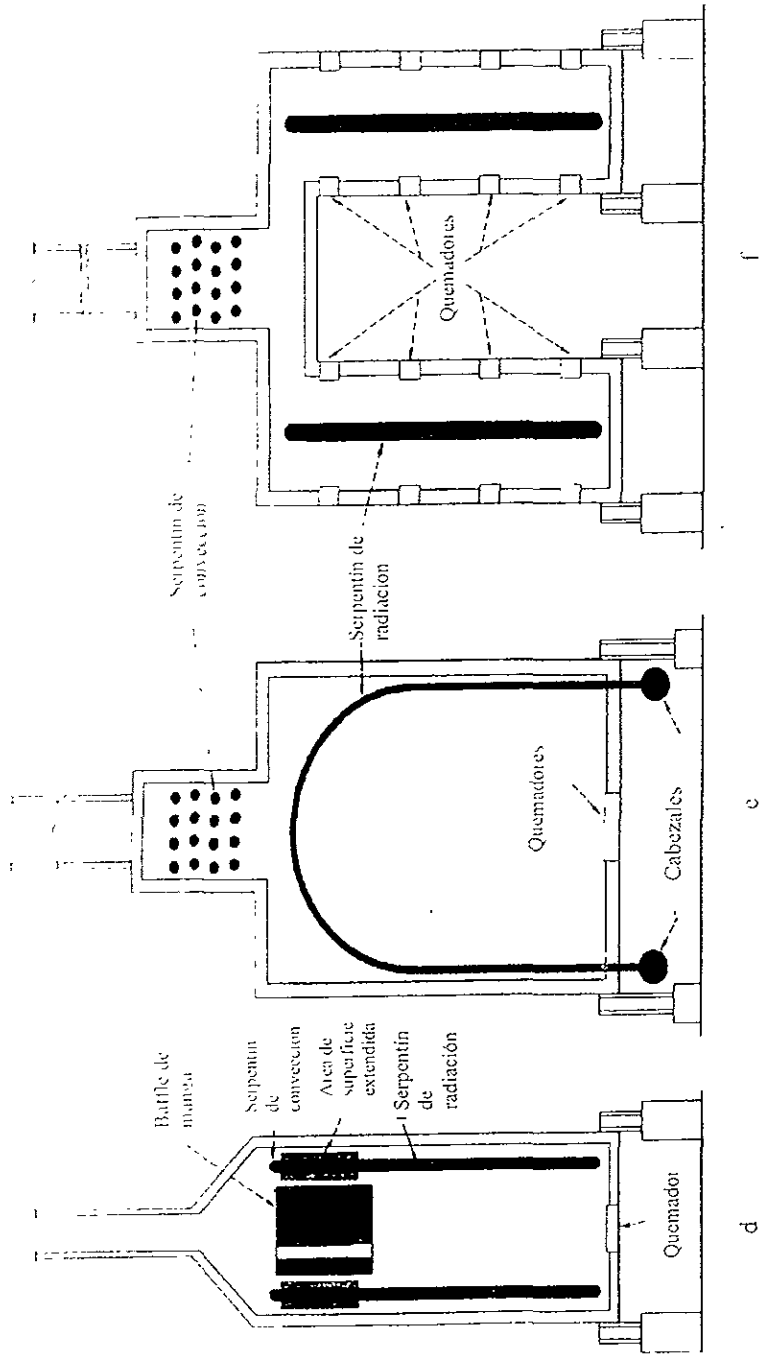
Puertas de explosión -

Diseñadas para dar y aliviar la presión en caso de una explosión interna. Deben de estar libres de tubería.



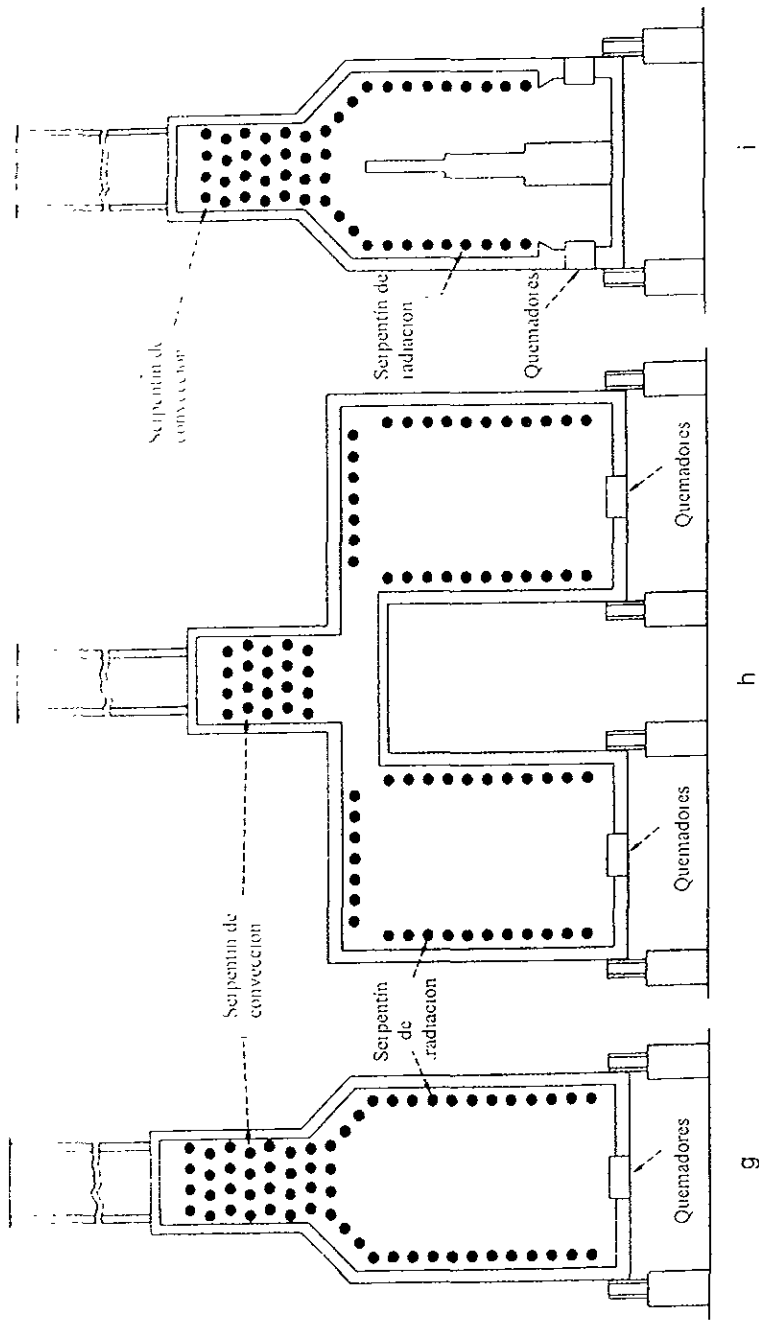
<p>a Cilindro vertical todo radiante</p> <p>Características.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de inversión - Diseño de baja eficiencia - Mínima área física requerida - Cargas térmicas entre 0.5 a 20 MMBtu/hr 	<p>b. Cilindro vertical serpentin helicoidal</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de inversión - Mínima área física requerida - Limitación El arreglo solo permite un solo paso - Cargas térmicas entre 0.5 a 20 MMBtu/hr 	<p>c Cilindro vertical con sección de conveccion flujo cruzado</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diseño económico - Mayor eficiencia - Mínima área física requerida - La mayoría de los nuevos diseños tienen esta configuración - Cargas térmicas entre 0.5 a 20 MMBtu/hr
--	--	--

Figura No. 1



<p>d Cilindrico vertical con seccion de conveccion integrado</p> <p>Caracteristicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diseño practicamente discontinuado - Mayor eficiencia que los arreglos a y b pero menos que el c - Mínima área física requierda - Cargas termicas entre 10 a 100 MMBtu/hr 	<p>e. Tipo arco (arbor o wicket)</p> <p>Caracteristicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Este diseño puede ser ampliado para acomodar varios serpentines de arco dentro de una misma caja de radiación - Diseño adecuado para flujos muy elevados en fase gaseosa lado proceso y baja caída de presión permisible - Servicio tipico Reformación catalitica - Los quemadores pueden estar en el piso o en las paredes frontales 	<p>f. Tubo vertical doble fuego</p> <p>Caracteristicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los diseños con niveles multiples de quemadores se emplean en servicios asociados a reactores - Arreglo para servicios que demandan alto y uniforme flux termico - Los distintos niveles de ubicación de los quemadores, permiten un riguroso control de perfil de temperatura a lo largo de cada serpentín - Tiene el mayor costo de inversión
--	--	---

Figura No. 2



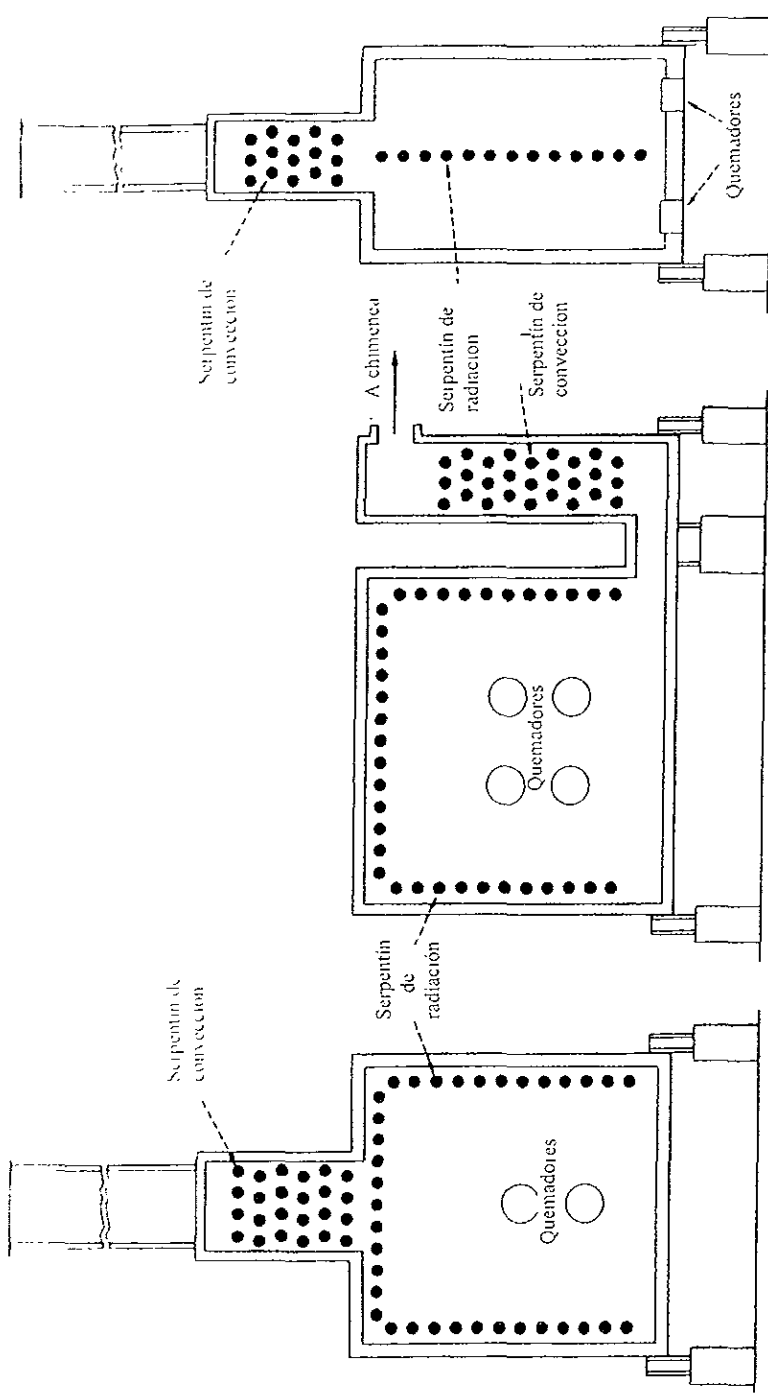
i. Cabina con pared divisoria

Características:
 Una pared central divide la única celda permitiendo un mayor control del flux térmico sobre cada serpentín
 Opcionalmente los quemadores pueden instalarse en le piso del hogar en ambos lados de la pared central

h.- Caja dos celdas

g - Cabina

Figura No. 3



j k l m

j.- Caja con tubos horizontales y quemadores en paredes

k.- Caja con tubos horizontales y quemadores en paredes con sección de convección montada a un lado
 - Diseño prácticamente discontinuado.

l.- Tubo horizontal de doble fuego
 - Los tubos radiantes constituyen una sola hilera y el fuego lo reciben por ambos lados, con lo que se logra una distribución uniforme en flux de calor.
 - Este diseño se acostumbra en servicios críticos asociados a reactores

Figura No. 4

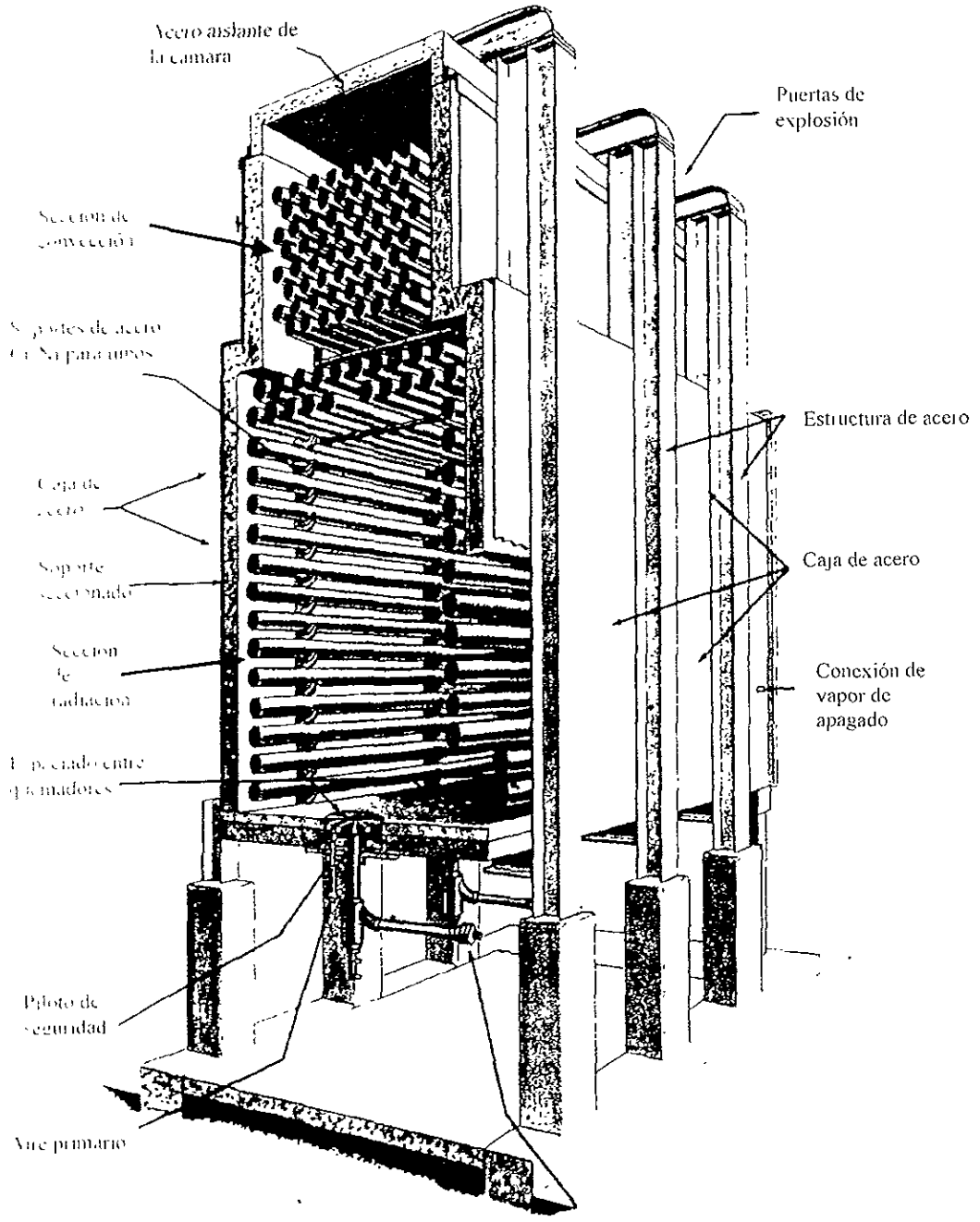
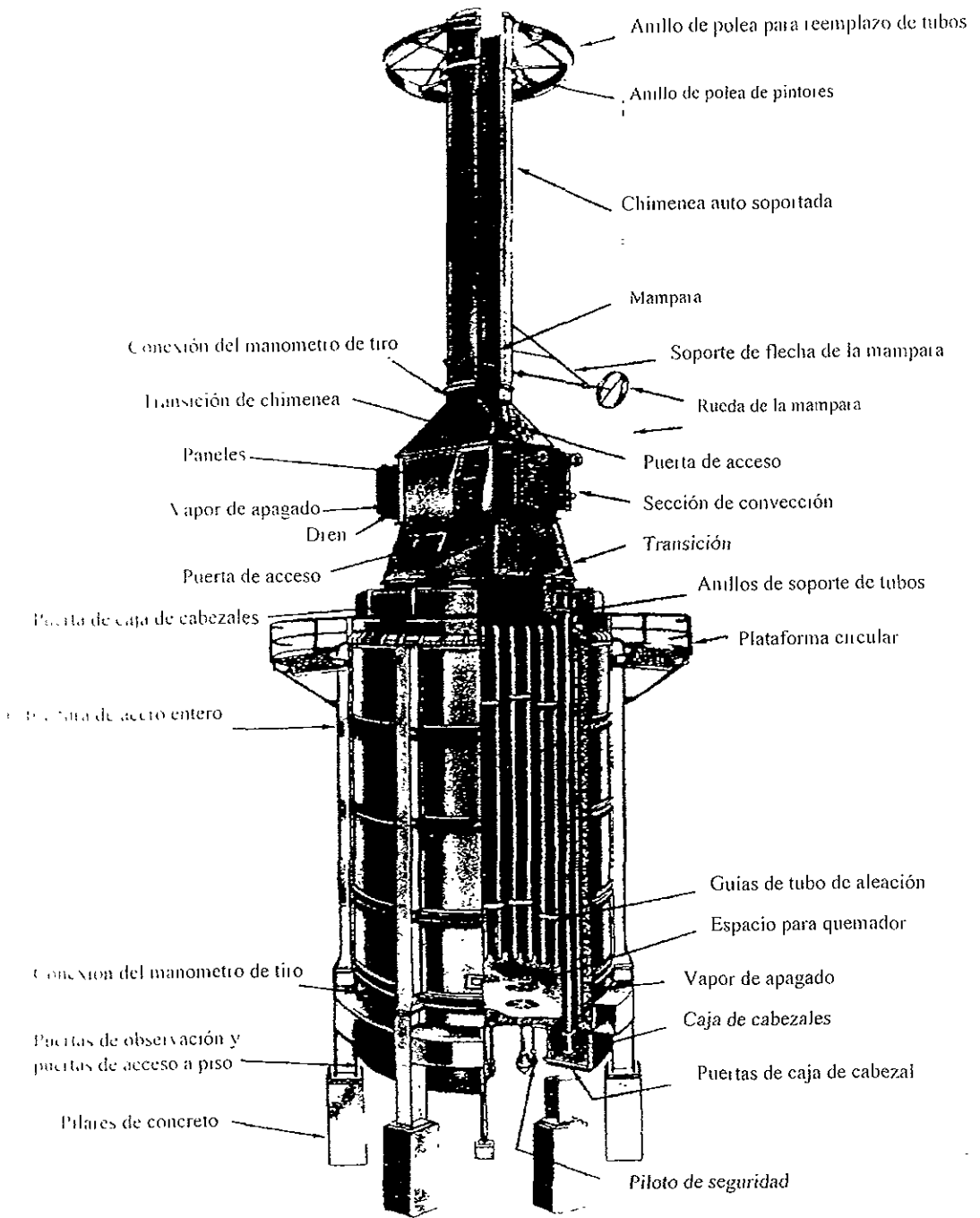


FIGURA No. 5



Calentador vertical

FIGURA No. 6



ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO



DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

I.- Objetivo

Evaluar la *eficiencia energética y detectar potenciales de ahorro de energía* en los calentadores a fuego directo.

II.- Alcance

El estudio se enfocará al cálculo de la eficiencia energética del calentador mediante el balance de materia y energía, de acuerdo a lo indicado por el estándar API-560 (American Petroleum Institute) apéndice G "*Calculo de la eficiencia térmica en calentadores a fuego directo de proceso*", las actividades que se realicen para cubrir el objetivo, deben presentarse con la amplitud y profundidad necesarias para obtener una visión global del uso energético del equipo auditado, así como su posibilidad de eficientarlo y optimizarlo.

La finalidad de un diagnóstico energético de calentadores a fuego directo comprende:

- Evaluar las condiciones actuales de operación del equipo.
- Establecer su potencial de ahorro energético en función de sus características de diseño.
- Determinación de puntos de ahorro energético y proponer alternativas para reducir pérdidas sin modificar el equipo.
- Recomendar modificaciones técnicas y económicamente viables que permitan incrementar su eficiencia energética de operación

III.- Análisis energético del calentador a fuego directo.

Para poder hacer una evaluación energética lo más real posible del calentador a fuego directo es necesario contar con información cuando está operando (condiciones actuales) y como fue diseñado (condiciones de diseño), esto con la finalidad de poder comparar y verificar que comportamiento sigue en condiciones de operación y si es necesario reajustar la operatividad del equipo, incluso cambiar o adicionar partes del equipo para mejorar su rendimiento.

En este apartado se efectuarán los análisis energéticos correspondientes al diseño original y de operación actual, de acuerdo a lo siguiente:



A) *Conocimiento y análisis de los datos generales del equipo*

Mediante el empleo del formato 1, que se encuentra en el anexo II, será posible conocer los datos generales del equipo en consideración, entre otros puntos tenemos

Capacidad de procesamiento actual El parámetro será indicativo de si el equipo en estudio está siendo forzado al límite de su capacidad o bien, opera por debajo de su condición de diseño.

Tipo de calentador: A partir de ésta descripción, se conocerá si es un horno cilíndrico vertical, horizontal, tipo "caja", con una, dos o más celdas; características del (los) banco(s) de convección; localización y número de quemadores.

Servicio del calentador: Este concepto identifica la función del equipo en el esquema del proceso del cual es parte. Es decir, horno reformador, calentador de primaria, calentador de etileno, *horno reactor de viscosidad*, rehervidor de torre fracionadora, etc., (estos se describen en el punto de generalidades).

Servicio(s) de la(s) sección(es) de convección. El describir este concepto indica si dicha(s) sección(es) se utiliza(n), además del precalentamiento de la corriente de proceso, para algunos de los siguientes propósitos: calentamiento y saturación de agua, vaporización parcial o total de agua, sobrecalentamiento de vapor, integración energética con alguna otra corriente de proceso, etc

Combustible empleado: En este apartado es necesario indicar el tipo de combustible empleado, líquido o gas; a partir de esta información se puede evaluar la eficiencia y la capacidad energética del calentador, dicha evaluación es distinta para cada tipo de combustible



Como puede apreciarse, el conocimiento previo en gabinete de la información descrita en el párrafo anterior, permitirá tener una visión inmediata y suficiente del equipo próximo a evaluar

En el formato 3 "A" del anexo II se tabulan las variables a considerar para el diagnóstico energético (fluido de proceso y gases de chimenea), en el formato 3 "B" se complementa la información concerniente a las características físicas y químicas de las corrientes involucradas en el formato 3 "C", se muestran los requerimientos de medición in-situ al momento de hacer el levantamiento (verificación de existencia, operatividad y suficiencia de la instrumentación) y en el formato 3 "D" se resume la información mínima necesaria para determinar la eficiencia en un calentador a fuego directo.

Dado que la siguiente etapa del desarrollo consiste en la recopilación de información detallada del equipo, dicha fase será mucho más redituable y efectiva por el hecho de conocer e inferir de antemano, la función y características operacionales del equipo en cuestión.

B) Recopilación de información detallada de diseño y operacional del calentador

Esta actividad de campo consiste en lo siguiente:

B 1) Recopilación de documentos de diseño.

La documentación básica y fundamental para el desarrollo del estudio y análisis energético es la siguiente:

- Hoja de datos del calentador en el formato API (American Petroleum Institute). Necesariamente tiene que ser la generada o proporcionada por el proveedor del equipo (en el anexo I se presenta un ejemplo de la misma).
- Dibujo o plano del arreglo general del calentador. También es un documento suministrado por el proveedor del equipo.
- Diagrama de tubería e instrumentación del equipo. Documento elaborado durante el desarrollo de la ingeniería.
- Curva de liberación de calor del modelo de quemador instalado. Información procedente del fabricante de dicho equipo. Documento proporcionado por el proveedor.
- Diagrama de flujo del proceso del cual el calentador es parte.

En el formato 2 del anexo II, se muestra dicha información básica requerida para la evaluación energética.



B.2; Recopilación de datos operacionales.

Es importante si se tiene, contar con la siguiente instrumentación portátil previamente calibrada, para el levantamiento de datos operacionales:

- ◆ Termómetro de superficie e infrarrojo
- ◆ Analizador de gases de combustión (Orssat, MOT-1500, entre otros)
- ◆ Manómetro de tiro

Para el apoyo de esta tarea se cuenta con los formatos 3 A,B,C y D que se encuentran en el anexo II, con el propósito de tener una visión inmediata y suficiente del calentador a evaluar.

Para efectuar la evaluación energética del calentador en el sitio de trabajo, se requiere obtener y determinar la siguiente información, efectuando las mediciones necesarias con el fin de corroborar estos datos con los de la bitácora de la planta del equipo auditado.

Nota: Deberá hacer mediciones durante el período de inspección del calentador, así como recopilar información de un período de operación a carga máxima y normal, que sea representativo del comportamiento del calentador.

B.2.1.- Proceso de combustión (Diseño/Actual):

- 1) - Tipo de combustible.
- 2).- Flujo de combustible.
- 3).- Poder calorífico (alto y bajo).
- 4).- Composición del combustible, características del combustible durante el período analizado
- 5) - Temperatura de gases de combustión.
- 6) - Composición de gases de combustión.
- 7).- Presión de los gases de combustión en diferentes puntos (tiro).
- 8) - Relación combustible / aire.
- 9) - Exceso de aire empleado o % de oxígeno.
- 10).- Si se cuenta con precalentamiento de aire:
 - 10.1. Temperatura de entrada y salida del aire.
 - 10.2. Temperatura de entrada y salida de los gases de combustión.
- 11).- Temperaturas de pared en diferentes puntos del calentador (termografía).

B.2.2.- Corriente de proceso (Diseño/Actual):

- 1) - Flujo



- 2) - Composición.
- 3) - Propiedades físicas
 - 3.1 - Densidad / densidad relativa
 - 3.2.- Viscosidad
 - 3.3.- Calor específico ó entalpías
 - 3.4.- Calor latente de vaporización
 - 3.5- Porciento de vaporización (entrada / salida)
 - 3.6.- Conductividad térmica
 - 3.7 - Peso molecular
- 4) - Temperatura de entrada y salida
- 5) - Presión de entrada / salida.
- 6) - Máxima caída de presión disponible / calculada (por simulación).

B.2.3.- Calentador a fuego directo (Diseño/Actual):

- 1) - Tipo de calentador.
- 2) - Tipo de tiro.
- 3) - Carga térmica de diseño y operación (normal y máxima).
- 4).- Porciento de sobrediseño
- 5).- Eficiencia de operación (la eficiencia térmica deberá determinarse con el poder calorífico bajo e indicar con que porciento de exceso de aire se determinó), *compararla contra la de diseño*
- 6) - Número de quemadores instalados.
- 7) - Tipo de quemadores instalados.
- 8) - Arreglo y localización de los quemadores.
- 9).- Calor liberado por cada quemador

Si el calentador emplea combustible liquido:

- 10) - Número de sopladores de hollín instalados.
- 11) - Tipo de sopladores de hollín instalados.
- 12).- Período de operación de los sopladores.
- 13).- Tipo de vapor utilizado en los sopladores

14).- Tipo de refractario.

- 14.1) Material del refractario
- 14.2) Tipo de recubrimiento del refractario.



INFORMACIÓN ADICIONAL

15).- Zona de radiación:

- 15 1.- Arreglo de los tubos
- 15 2.- Número de pasos.
- 15 3.- Número de tubos
- 15 4.- Material de los tubos
- 15 5.- Diámetro exterior de los tubos
- 15 6.- Espesor de tubos.
- 15.7.- Longitud efectiva de tubos
- 15 8.- Carga térmica de diseño y de operación.
- 15 9 - Presión de gases de combustión de operación y de diseño a la entrada y salida del calentador.

16).- Zona de convección:

- 16.1.- Tipo de tubos empleados.
- 16.2.- Tipo de superficie extendida.
- 16 3.- Altura pernos.
- 16.4.- Diámetro pernos
- 16 5.- Distribución de pernos.
- 16.6.- Camas futuras.
- 16.7.- Número de pasos
- 16.8.- Arreglo de los tubos
- 16.9.- Número de tubos por hilera.
- 16.10.- Número de hileras.
- 16 11.- Espesor de tubería
- 16 12.- Diámetro de los tubos.
- 16.13 - Espacio disponible para los tubos.
- 16 14.- Espacio requerido para los tubos
- 16 15.- Número de tubos.
- 16 16 - Longitud efectiva de tubos.
- 16 17 - Material de los tubos.
- 16 18 - Carga térmica de diseño y de operación (normal y máxima).

17).- Chimenea:

- 17 1.- Tipo
- 17 2.- Cantidad
- 17 3.- Diámetro interno.



- 17.4.- Altura
- 17.5 - Material

18).- Quemadores (ver anexo II):

- 18.1.- Tipo.
- 18.2.- Marca / modelo (Diseño y actual).
- 18.3.- Cantidad
- 18.4 - Calor liberado por quemador (Diseño y Normal)
- 18.5.- Materiales de construcción

19).- Si existe equipo auxiliar para generar vapor ó recalentar:

- 19.1 - Temperatura de entrada del agua o vapor
- 19.2.- Presión de entrada del agua o vapor.
- 19.3.- Composición del agua o vapor.
- 19.4.- Tipo de vapor generado.
- 19.5 - Temperatura del vapor generado.
- 19.6.- Presión del vapor generado.
- 19.7.- Temperatura de entrada y salida de los gases de combustión en el recuperador de calor.

20).- Aislamiento externo.

- 20.1.- Tipo y espesor.
- 20.2.- Estado actual del aislamiento de las líneas y del equipo).
- 20.3.- Material del aislamiento

21.- Dimensiones generales del calentador (Arreglo general del equipo.

22.- Diagrama de tuberías e instrumentación del calentador.

23.- Análisis termográfico.

Evaluación de puntos calientes en las paredes del calentador. Importante para localizar los posibles daños en el refractario, así como para determinar puntos de aseguramiento de calidad.



C) Preparación de las mediciones

Se sugiere que previamente a la prueba en que realizarán las mediciones, se mantenga la carga del horno (entrada del fluido de proceso, combustible a quemadores, entrada de aire primario, damper) durante 1 hora a condiciones normales de operación, a fin de que se estabilice el calentador. A partir de los 30 minutos, de que esta se haya logrado, se procederá a iniciar la prueba. Los parámetros se consideran estables cuando la variación entre una toma y otra no salgan de los límites establecidos en la siguiente tabla*

DATOS	LIMITES
Composiciones	± 1 %
Temperaturas	± 10 ° F
Presiones	± 5 %
Flujos y relaciones de flujos	± 5 %
Poder calorífico	± 5 %

Se pueden hacer dos lecturas después de la verificación de estabilidad del sistema, el levantamiento será cada dos horas; por lo que el tiempo total de muestreo será de cinco horas y media

* La variación en porcentaje entre un dato y otro se puede hacer según la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{\text{Valor mínimo}}{\text{Valor máximo}} - 1 \right) \times 100 = \text{porcentaje de variación}$$

Los valores mínimo y máximo deben estar en las mismas unidades.



C 1, Lista de mediciones y lugares donde se va a efectuar

MEDICIÓN	LUGAR
<p>Medio ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura ambiental bulbo seco - Temperatura de bulbo húmedo. - Presión barométrica. 	<p>Área donde se encuentra el calentador a fuego directo</p>
<p>Gases de chimenea</p> <ul style="list-style-type: none"> -Análisis de gases. -Temperatura de gases. 	<p>Toma de lecturas antes de la sección de convección.</p>
<p>Flujo de proceso</p> <ul style="list-style-type: none"> -Flujo -Presión -Temperatura 	<p>Medidores localizados en el serpentín de alimentación, el cual entra por la sección de convección , y en el serpentín de salida, sección de radiación (pueden existir varios serpentines de alimentación y salida, cada uno con medidores independientes)</p>
<p>Combustible</p> <ul style="list-style-type: none"> -Flujo -Temperatura 	<p>En el tanque de día, a la descarga de la bomba de combustible o en la caseta de suministro</p>
<p>Aire</p> <ul style="list-style-type: none"> -Temperatura 	<p>Temperatura del aire parte baja de la sección de radiación, en el ducto de aire o a la salida del precalentador de aire (si existe).</p>
<p>Superficie</p> <ul style="list-style-type: none"> -Temperatura de superficie 	<p>En toda la superficie del calentador (sección de convección y radiación).</p>



C 2) Instrumentos de medición.

a) Temperatura

Termómetro de bulbo - Se basan en la dilatación de un líquido, que por lo regular es mercurio o alcohol, que se encuentra en un depósito de vidrio llamado bulbo, al dilatarse el líquido sube por un tubo de vidrio generalmente graduado en grados centígrados o fahrenheit ($^{\circ}\text{C}$ o $^{\circ}\text{F}$)

Termómetros de resistencia - Se basan en la propiedad física de los metales para modificar el valor de su resistencia eléctrica con la temperatura. La temperatura se mide en función a los cambios del valor de la resistencia.

Termopares - El funcionamiento de los termopares se basa en el principio físico de que si se unen dos alambres de metales diferentes y el punto de unión se calienta o se enfría, aparece una diferencia de voltaje entre los dos extremos no calentados o enfriados (efecto seebeck). La magnitud de la diferencia de voltaje que resulta del efecto Seebeck es bastante pequeña (del orden de milivoltios). La diferencia de voltaje es directamente proporcional a la diferencia de temperatura que existe entre la unión caliente y los extremos fríos

Las combinaciones de metales más empleadas para fabricar los termopares son las siguientes: hierro y constantan, cromel y alumen (aleación de níquel y cromo, y de aluminio y níquel respectivamente), y platino y platino-rodio.

Termómetros digitales: Existen en el mercado sondas de resistencia o termopares que se conectan a dispositivos digitales que con precisión y facilidad registran la temperatura en diferentes condiciones.

b) Presión

Para medir la presión en líquidos o en vapor, se usarán manómetros, por lo regular de tubo de Bourdon, que es un tubo en forma de media herradura cerrado en un extremo y en el otro conectado a la fuente de presión que se va a medir. La que hace que la herradura se abra o se cierre dependiendo de una mayor o menor presión. El movimiento se transmite por medio de un mecanismo de relojería a una aguja sobre una carátula graduada, donde se lee la presión manométrica.

Presión barométrica: Esta es la presión atmosférica del lugar y puede ser determinada conociendo la elevación sobre el nivel del mar del lugar o medirla con un barómetro de columna de mercurio, m de columna de agua o en algunas ocasiones en otras unidades de presión (kg/cm^2 o lb/in^2)



c) Flujo

Se puede medir utilizando una placa de orificio, venturi o tubo pitot. La caída de presión de los fluidos al pasar por estos dispositivos es proporcional al caudal que circule por la tubería. Si mediante un manómetro se registra la caída de presión podrá determinarse la magnitud del flujo.

Medidores ultrasónicos de flujos. El principio de medición de estos equipos es el efecto Doppler, basado en la propiedad de que las frecuencias de las ondas sonoras de un foco emisor varían con la velocidad relativa respecto al observador. En estos equipos se emite una señal ultrasónica en el seno del líquido que será reflejada por las partículas suspendidas o por las burbujas que se desplazan con el fluido cuyo caudal se desea medir.

d) Combustión

Analizador de gases de combustión Orsat: Se basa en el cambio de volumen que sufren ciertos compuestos al absorber el CO , CO_2 y O_2 contenido en los gases de combustión. Consta de una bureta, tres tubos de absorción, una botella de nivel, tubos de conexión de vidrio y mangueras. Usa potasa cáustica que absorbe el CO_2 , ácido pirogálico para absorber el O_2 , y una disolución de cloruro cuproso en amoníaco para absorber al CO . La medición de estos gases se efectúa como una función del cambio de volumen de estos líquidos.

Analizador electrónico de gases de combustión: Este tipo de instrumentos, permiten conocer la composición de CO , CO_2 , O_2 , NO_x y SO_x mediante el uso de celdas electroquímicas, las cuales varían su resistividad al absorber los componentes de los gases de combustión (CO , CO_2 , O_2 , NO_x y SO_x). La mayoría están programados para calcular la eficiencia de combustión. Adicionalmente, proporcionan la temperatura ambiente y la temperatura de gases de combustión y en algunos casos vienen equipados con una bomba de succión y filtros para determinar la mancha de inquemados (cuando se trata de combustibles líquidos) por el método Bacharach. Una de sus principales características, es que la mayoría de ellos se autocalibran y permiten la comunicación directa con una computadora personal (los analizadores que cumplen con estas características son el MOT-1500 y el BACHARACH Mod. 300, para más detalles ver anexo de comparación). Hay que compararlo periódicamente con un Orsat o con gases patrón.



C 3) Toma de mediciones

a) Medición de condiciones del medio ambiente:

Temperatura de bulbo seco corresponde a la temperatura normal del ambiente y es medida por un termómetro de bulbo o cualquier otro tipo.

Temperatura de bulbo húmedo: corresponde a la temperatura medida por un termómetro similar al de bulbo seco pero con una mecha o algodón mojado en la parte sensible por donde se hace circular aire del ambiente.

Humedad relativa: se determina con la temperatura de bulbo seco y húmedo usando tablas psicométricas o con un psicómetro.

Presión barométrica: Se determina con un barómetro, barómetro aneroide o conociendo la elevación del lugar

Fórmula aproximada para determinar la presión barométrica de un lugar conociendo su elevación sobre el nivel del mar, válida entre 500 y 4000 m

$$P = 10.33 - ((h-500)/1000)$$

Donde P Presión barométrica en metros de columna de agua

h Elevación del lugar en metros

b) Análisis de gases.

Por medio del analizador de gases de combustión Orsat o analizador electrónico de gases de combustión, se deberán tomar muestras a diferentes penetraciones del ducto de escape de gases.

Temperatura de gases por medio de un termómetro o termopar en el mismo orificio donde se tomó la muestra de gases. Es recomendable que también se realice la medición a diferentes penetraciones del ducto, con el objeto de obtener la temperatura promedio de los gases. En el caso de utilizar un analizador de gases electrónico, este ya incluye la sonda de temperatura junto con la de gases



c) Características del combustible

A partir de un análisis del combustible se puede determinar características del combustible tales como poder calorífico alto y bajo, composición, densidad, viscosidad entre las más importantes

Temperatura de combustible Se puede obtener directamente del tanque de reserva o del cabezal de alimentación al calentador si cuenta con medidor de temperatura

Presión de combustible En el cabezal de alimentación de combustible se localiza un indicador controlador de presión, en el se puede leer la presión de alimentación del combustible al calentador (ver formato 3 C, anexo II)

Flujo del combustible en el cabezal de alimentación de combustible al calentador se localiza un indicador de flujo del cual se puede medir el flujo del combustible (ver formato 3 C, anexo II)

d) Flujo presión y temperatura del fluido de proceso:

Condiciones de entrada del fluido de proceso: en el serpentín de entrada del fluido de proceso (sección de convección) se localizan un medidor de temperatura y uno de presión, así como un medidor controlador de flujo; de estos se pueden tomar las lecturas correspondientes (ver formato 3 C, anexo II).

Condiciones de salida del fluido de proceso: en el serpentín de salida del fluido de proceso (sección de radiación) se localizan un medidor controlador de temperatura y un medidor de presión, del cual se tomaran las lecturas respectivas (ver formato 3 C, anexo II), en el serpentín de salida no es necesario medir el flujo de fluido de proceso.

e) Temperatura de superficie

Con un termómetro de superficie se sugiere levantar de una a tres lecturas en la superficie del calentador por cada metro cuadrado, sacando un promedio el cual representará la temperatura por metro cuadrado, siendo anotada en el diagrama de temperaturas anexo, representativo de la superficie del calentador.



IV.- Elaboración de balances de materia y energía.

Identificar y cuantificar las diferentes corrientes que entran y salen del calentador determinando la energía contenida en cada una.

Este análisis energético del calentador deberá considerar también el balance de materia de las corrientes

Energía entrante

- En la carga de proceso
- Aportada por el combustible (debe compararse la calculada por flujo actual de combustible, con la obtenida por el flujo de diseño)

Energía saliente

- En la carga de proceso.
- En los gases de chimenea
- Pérdidas en paredes

V.- Cálculos

Se realizarán los cálculos de la eficiencia del horno, con base a un programa computacional proporcionado en la metodología o por simuladores que tenga el consultor especializado

VI.- Diagnóstico de la instalación.

A partir de los datos obtenidos en la inspección del equipo, las mediciones en campo y los balances de materia y energía se determinará el estado actual del calentador y/o equipos complementarios, indicando la razón de las desviaciones en su eficiencia respecto al diseño. (Es necesario indicar los resultados mediante diagramas de **Sankey**).

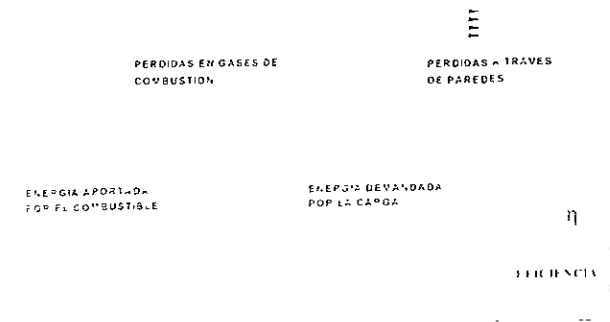


FIGURA No. 7 DIAGRAMA DE SANKEY

También será necesario indicar en forma esquemática las condiciones de operación actuales del calentador, las de diseño y las alternativas propuestas

En el informe del diagnóstico es importante describir las acciones y/o modificaciones que se tendrían que realizar para eficientar la operación del calentador y poder alcanzar las condiciones de diseño originales, así como el análisis técnico-económico de las principales medidas recomendadas

VII.- Definición de medidas de ahorro energético operacionales

En este punto se deberá marcar las acciones operacionales correctivas que conlleven al funcionamiento eficiente y a la reducción del consumo de energía en el calentador

Se deberán clasificar las medidas con base al beneficio energético. Esto deberá ir acompañado de un plan de acción de acuerdo a la prioridad de las acciones tanto operativas como modificaciones con inversión.

VIII.- Definición de medidas de ahorro energético con inversión.

En este apartado se definirá las modificaciones con inversión que se deberán hacer a los equipos para eficientar su operación.

Para cada tipo de medida propuesta, es necesario hacer un análisis económico, que incluya información suficiente para la toma de decisiones. Se deberán presentar diferentes alternativas a seguir debidamente documentadas



IX.- Factibilidad técnico-económica de las propuestas con inversión.

Las recomendaciones que requieran inversión deberán acompañarse de un análisis económico respectivo para justificarse.



INSPECCIÓN VISUAL

I. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

1.- OBJETIVO

El objetivo de la inspección visual es recabar información sobre el estado físico actual de los calentadores a fuego directo y sus equipos periféricos estableciendo los elementos para determinar la eficiencia térmica y dictaminar las medidas de ahorro de energía operacionales o de inversión según el caso.

2 - ALCANCE

En la inspección visual se cubrirán los siguientes aspectos para los calentadores:

- 2.1 - Datos generales de los calentadores
- 2.2 - Estado actual del sistema de aislamiento de líneas y equipo.
- 2.3 - Estado actual del refractario
- 2.4 - Numero y funcionamiento de mamparas
- 2.5 - Estado de los registros de control de entrada de aire a los quemadores
- 2.6.- Condiciones de la combustión.
- 2.7 - Estado actual del serpentín de la sección de radiación.
- 2.8 - Estado actual del serpentín de la sección de convección
- 2.9 - Verificación de existencia, funcionamiento y suficiencia de la instrumentación instalada en el equipo
- 2.10 - Verificación de equipo auxiliar para el aprovechamiento de energía



II. RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD

1.- DATOS GENERALES DE LOS CALENTADORES (ver formato 1 Anexo II).

2.- ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO DE LÍNEAS Y EQUIPOS (cuestionario No. 1 y 2).

3.- ESTADO ACTUAL DEL REFRACTARIO DE LOS CALENTADORES (cuestionario No. 1 y 2).

- SECCIÓN DE CONVECCIÓN
- SECCIÓN DE RADIACIÓN
- CHIMENEA

4.- NUMERO Y FUNCIONAMIENTO DE MAMPARAS (ver cuestionario No. 1).

5.- ESTADO DE LOS REGISTROS DE CONTROL DE ENTRADA DE AIRE A LOS QUEMADORES (ver cuestionario No. 1).

6.- CONDICIONES DE LA COMBUSTIÓN (ver cuestionario No. 1).

7.- ESTADO DE LOS TUBOS DE LA SECCIÓN DE RADIACIÓN (ver cuestionario No. 1 y 2).

8.- ESTADO DE LOS TUBOS DE LA SECCIÓN DE CONVECCIÓN (ver cuestionario No. 1 y 2).

9.- VERIFICACIÓN DE EXISTENCIA, FUNCIONAMIENTO Y SUFICIENCIA DE LA INSTRUMENTACIÓN INSTALADA EN EL EQUIPO (ver formato 3 C Anexo II).



10.- VERIFICACIÓN DE EQUIPO AUXILIAR PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA.

A continuación se presenta un formato base para el apoyo de la realización de esta actividad.

EQUIPO	OBSERVACIONES
Equipo para la medición periódica y sistemática de exceso de aire	
Banco de generación de vapor para recuperar parte del calor de los gases de combustión	
Sistema de precalentamiento de aire	

Para el desarrollo de estas actividades se proporcionan los cuestionarios No. 1 y 2 para la inspección visual del equipo en estudio, así como formatos para el levantamiento de datos de temperatura y presión.

Con la información recabada en los cuestionarios No. 1 y 2, y con los datos obtenidos al llenar los formatos que se localizan en el anexo II, procedemos al llenado de la tabla No. 1, así mismo de las figuras 2 y 3 los cuales representan los perfiles de temperatura y presión, que muestran las condiciones de operación actual del calentador.

TABLA No. 1

Presiones y Temperaturas de Operación a través del calentador (gases de combustión) en el periodo del estudio.

	PUNTO DE TOMA DE LECTURAS	PRESIÓN [mm H ₂ O]	TEMPERATURA [°F]
1	CHIMENEA SALIDA*		
2	ANTES DE MAMPARA		
3	BASE DE CONVECCIÓN		
4	QUEMADORES		

* como referencia



Figura No. 8

Indicación de puntos de medición (ver anexo II formato 3 C)

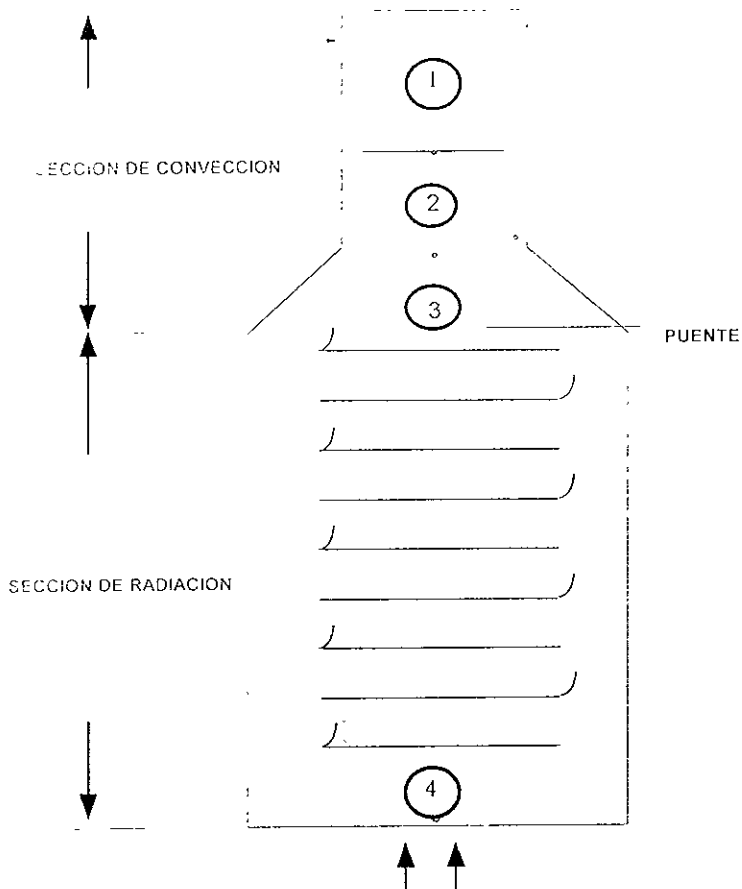




Figura No. 9

Perfil de presiones de tiro para el calentador.

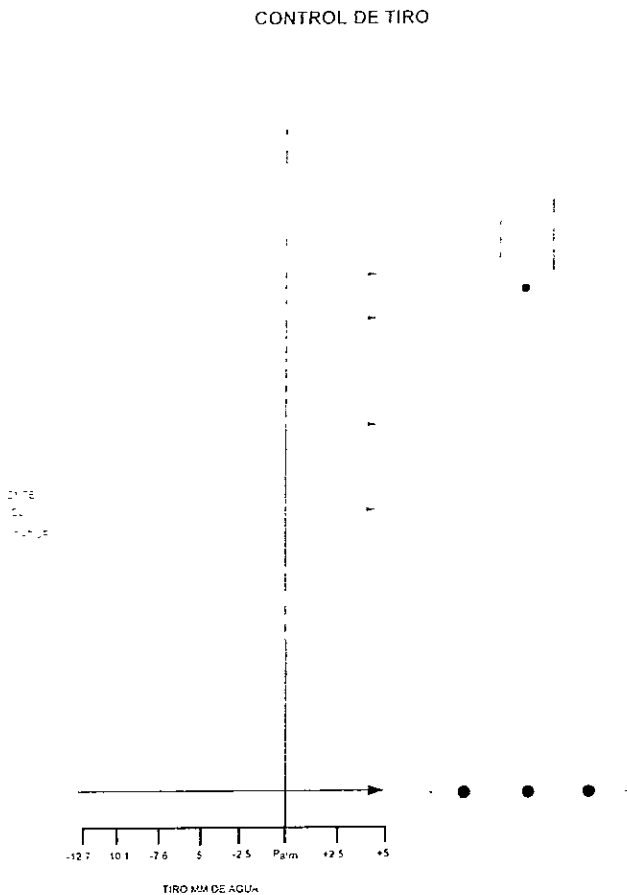




Figura No. 10

Perfil de temperatura para el calentador.

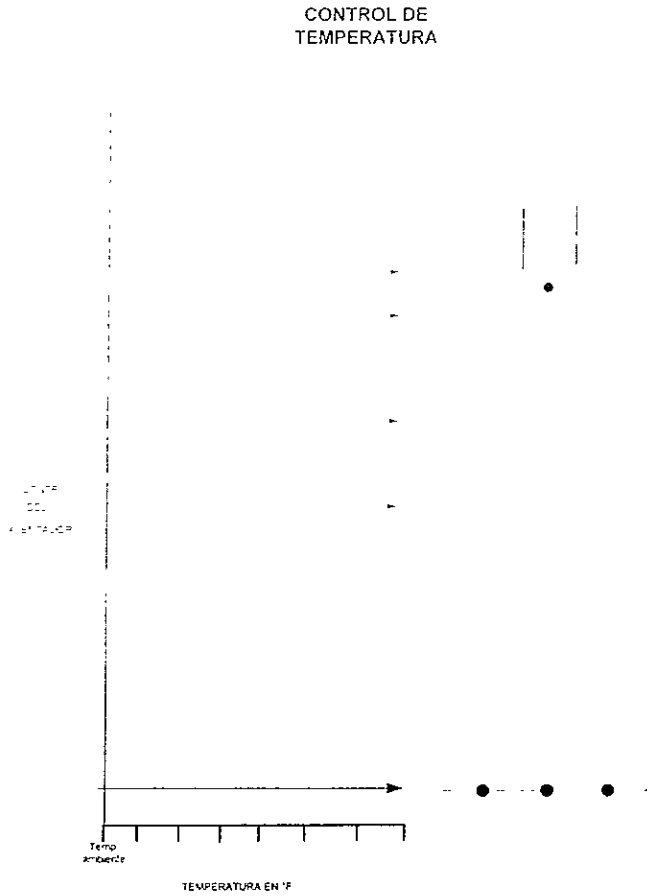
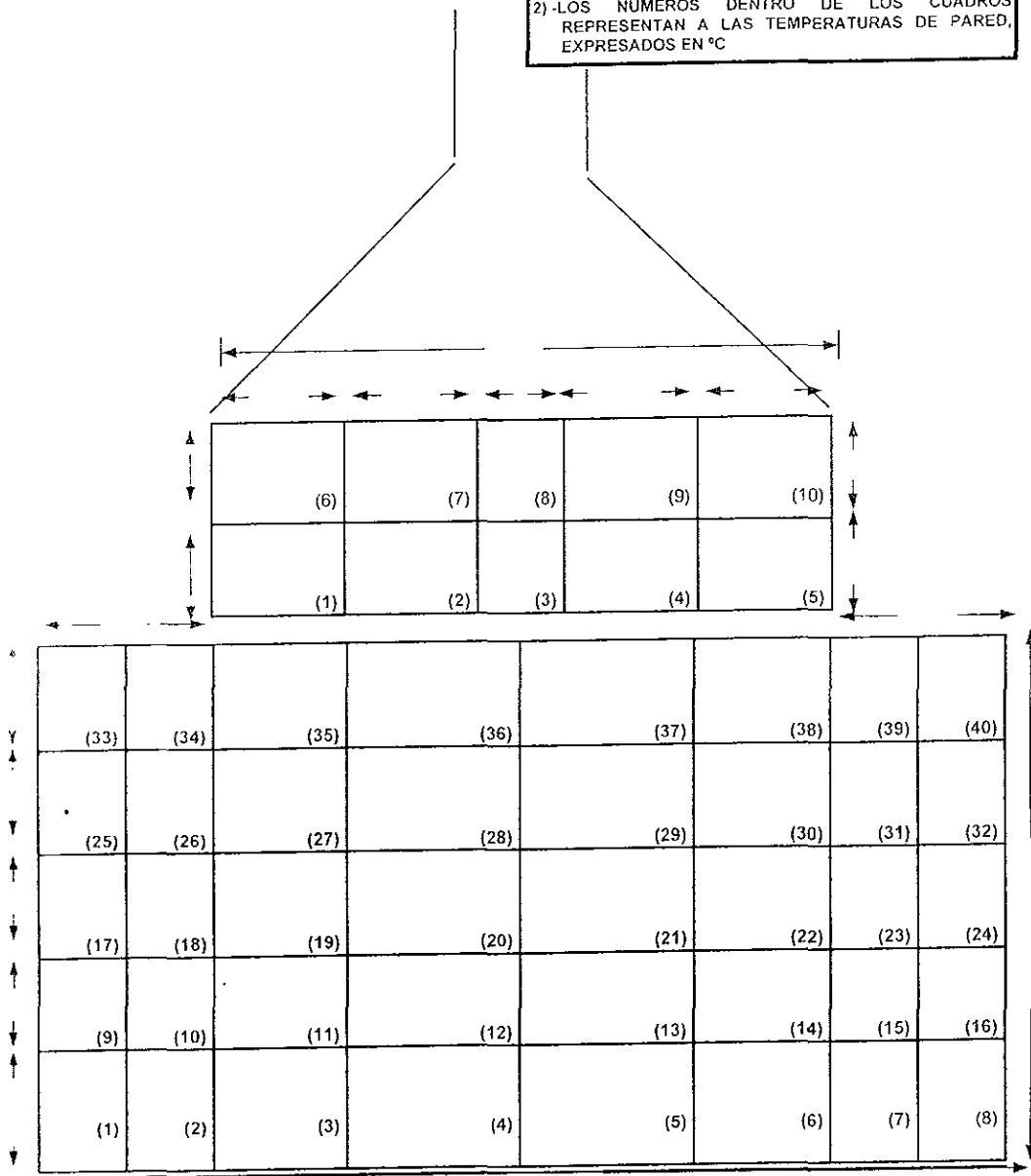




Figura No. 11

LADO NORTE

- 1) -LAS ACOTACIONES SE REPRESENTAN EN METROS
- 2) -LOS NÚMEROS DENTRO DE LOS CUADROS REPRESENTAN A LAS TEMPERATURAS DE PARED, EXPRESADOS EN °C





LADO SUR

Figura No. 12

- 1)-LAS ACOTACIONES SE REPRESENTAN EN METROS.
 2)-LOS NÚMEROS DENTRO DE LOS CUADROS REPRESENTAN A LAS TEMPERATURAS DE PARED, EXPRESADOS EN °C

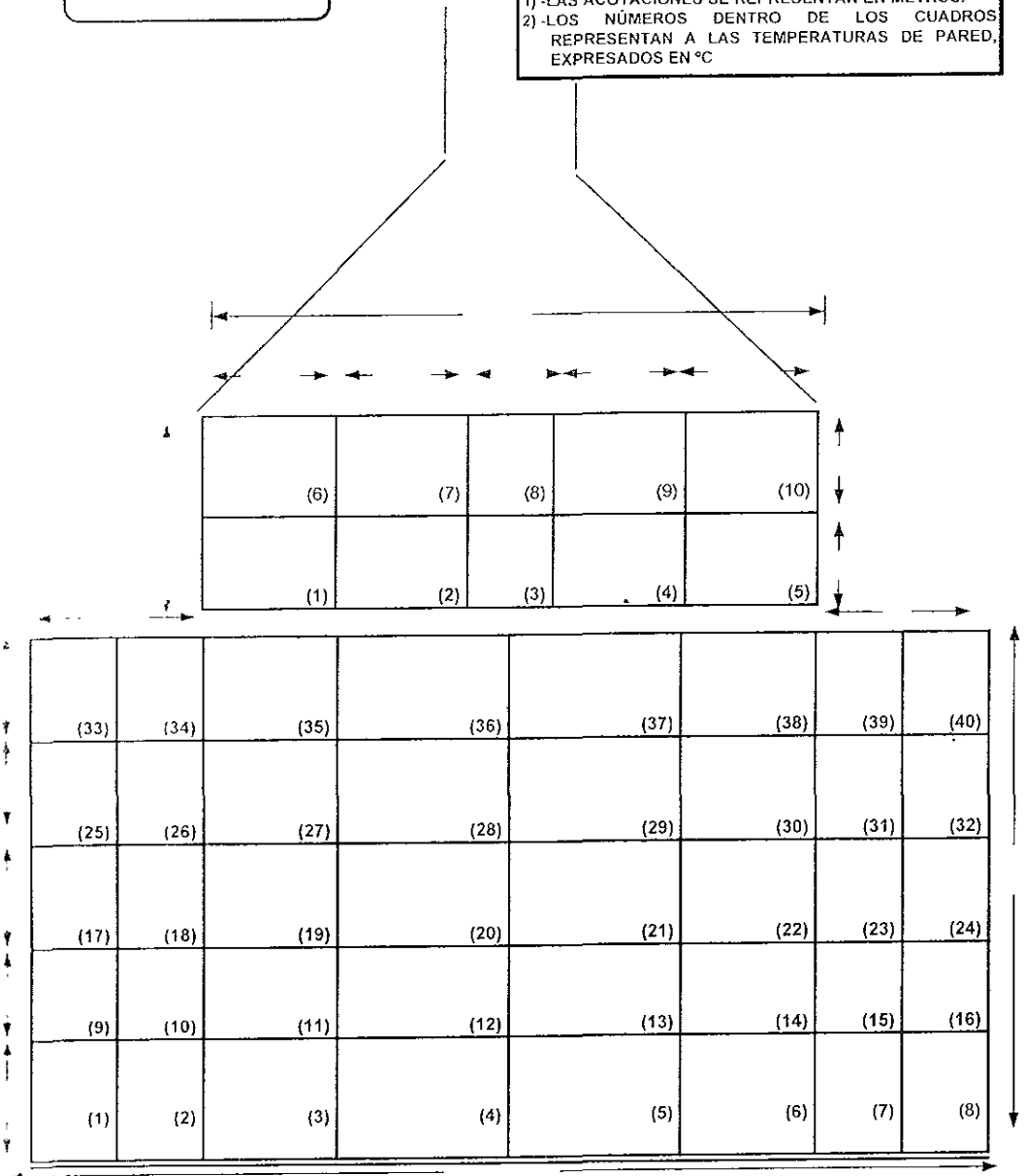
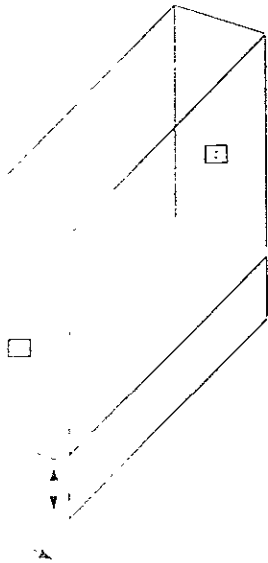


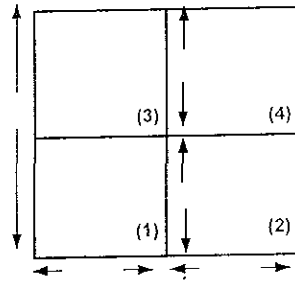


Figura No. 13

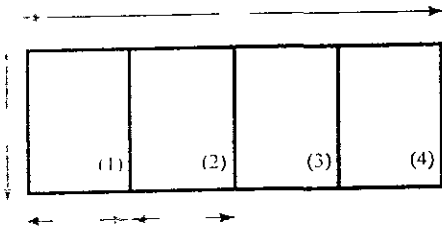
1).- LAS ACOTACIONES SE REPRESENTAN EN METROS
 2).- LOS NUMEROS DENTRO DE LOS CUADROS REPRESENTAN A LAS TEMPERATURAS DE PARED EXPRESADOS EN °C



TAPA LATERAL SECCIÓN DE CONVECCIÓN LADO ESTE
 1).- ALIMENTACIÓN DE CORR. DE PROCESO



VIGA No. 1 y 2.- LADO SUR, LADO NORTE



TAPA LATERAL SECCIÓN DE CONVECCIÓN LADO OESTE
 1).- SALIDA CROSS-OVER

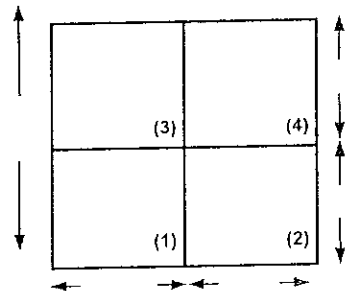
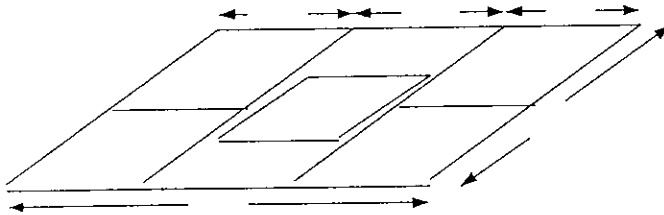


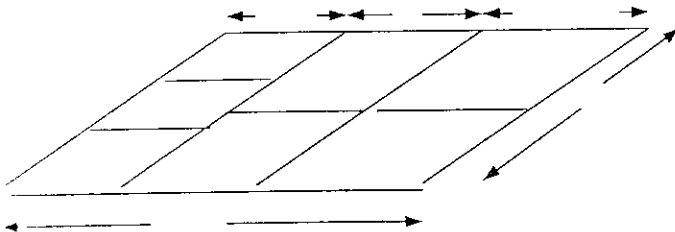


Figura No. 14

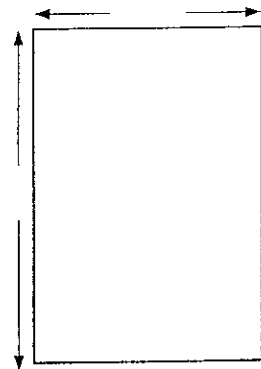
TECHO DE LA SECCIÓN DE RADIACIÓN LADO ESTE
(SALIDA DE FLUIDO DEL PROCESO)



TECHO DE LA SECCIÓN DE RADIACIÓN LADO OESTE
(CROSS-OVER)



LADO RADIACIÓN

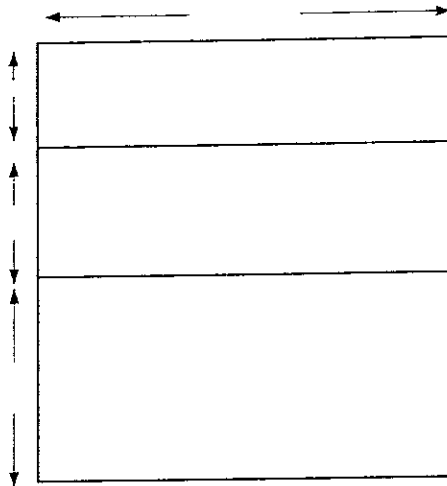


- 1) LAS ACOTACIONES SE REPRESENTAN EN METROS.
- 2) LOS NÚMEROS DENTRO DE LOS CUADROS REPRESENTAN A LAS TEMPERATURAS DE PARED, EXPRESADOS EN °C

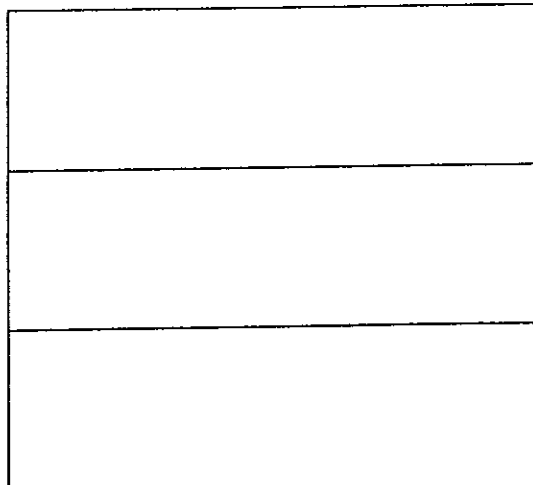


Figura No. 15

TAPA DE LA SECCIÓN DE RADIACIÓN LADO ESTE
(EN FRADA DE FLUIDO DE PROCESO)



TAPA DE LA SECCIÓN DE RADIACIÓN
(LADO OESTE CROSS-OVER)





DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO



Cálculo de la eficiencia

A continuación se describe en forma resumida el procedimiento para el cálculo de eficiencia la cual involucra las variables obtenidas en el desarrollo del diagnóstico y para la evaluación energética, así como constantes y propiedades de las corrientes involucradas en la operación del calentador.

También se describe la manera de emplear el programa para la obtención de eficiencia. Este cálculo termina con un diagrama de SanKey (figura No. 7 de la sección estrategias para el desarrollo del diagnóstico energético), el cual describe el balance de energía del calentador y proporciona la información térmica de las secciones del calentador.

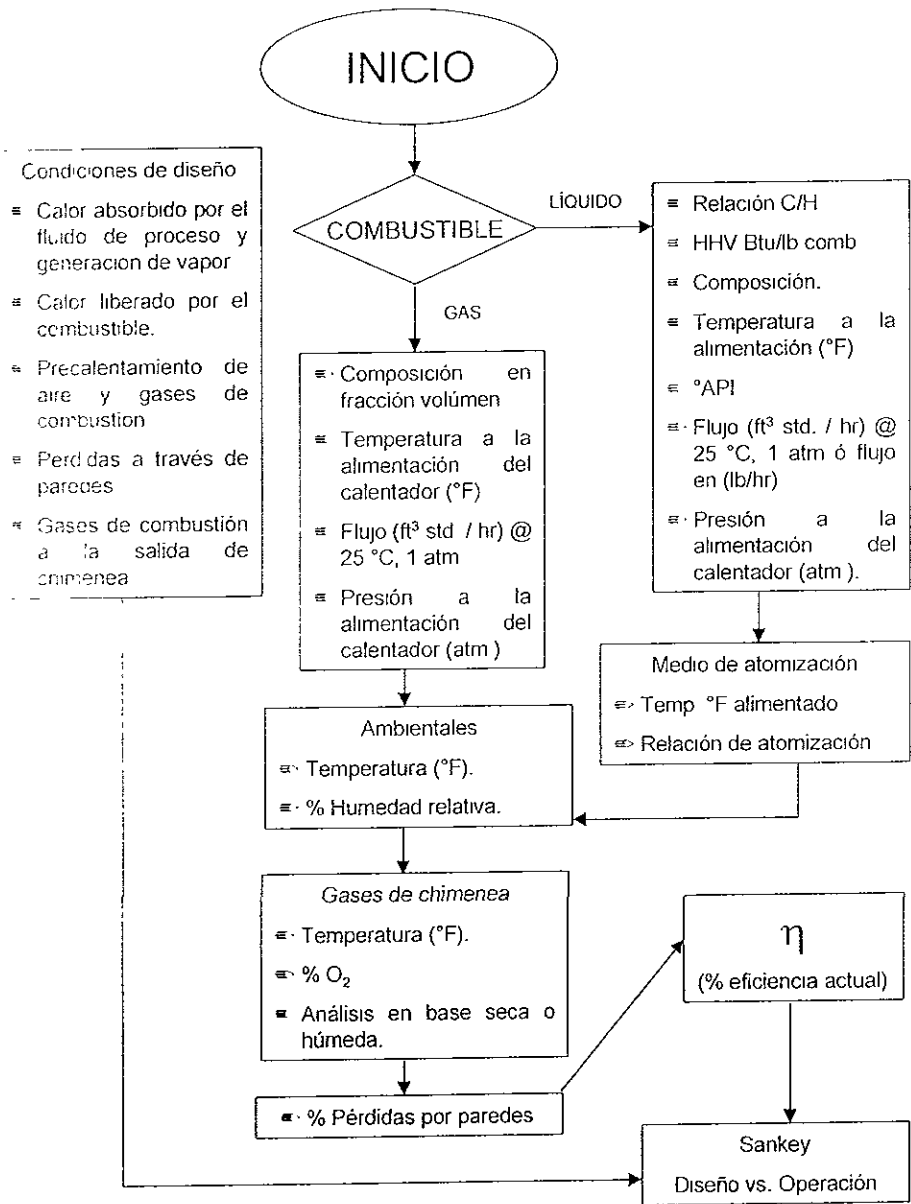
La ecuación más representativa para este cálculo es la siguiente

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_c}$$

$$\eta = \frac{Q_c - Q_l}{Q_c}$$

Donde

- η = eficiencia térmica del calentador
- Q_p = Calor total absorbido por la corriente de proceso
- Q_l = Calor total perdido en gases de combustión y por paredes
- Q_c = Calor total cedido por el combustible



ESQUEMA 2



Evaluación energética en calentadores a fuego directo (Método analítico caso comb. líquido)

El esquema No. 2 se describe en forma de bloques el procedimiento para evaluar el balance energético y la determinación de la eficiencia de manera analítica dependiendo del tipo de combustible a emplear (líquido o gas)

Para combustibles líquidos, el procedimiento es como sigue

- 1 - La información básica para la evaluación se da en el formato 3 "D" del anexo II
- 2 - Contando con el análisis del combustible (HHV, composición, relación H/C gravedad específica), se obtiene el por ciento en peso de H₂ y C.
- 3 - Se calcula el LHV.
- 4 - Con el por ciento de H₂ y C se calcula el aire requerido para combustión multiplicando estos datos por los valores correspondientes de aire requerido
- 5 - Se calcula el dióxido de carbono, agua y nitrógeno formado multiplicando el por ciento de H₂ y C con los valores correspondientes de formación de dióxido de carbono, agua y nitrógeno.
- 6 - Con la medición de la temperatura del aire se obtiene la presión de vapor
- 7 - Con la medición de humedad relativa y el cálculo de presión de vapor se obtiene la humedad del aire.
- 8 - Con el cálculo de humedad del aire y el aire requerido para combustión se calcula la humedad por libra de combustible.
- 9 - Con el cálculo de humedad por libra de combustible y el cálculo de agua formada se calculan las libras de agua por libra de combustible.
- 10 - A partir de la medición del por ciento de oxígeno y libras de medio de atomización por libra de combustible y el cálculo de libras de agua por libra de combustible, se calculan las libras de exceso de aire por libra de combustible (corrección por exceso de aire) y se obtiene el por ciento de exceso de aire
- 11 - Se realiza el cálculo para corrección de las libras de agua por libra de combustible.



12 - A partir de la obtención de dióxido de carbono y nitrógeno formados, el cálculo de libras de exceso de aire por libra de combustible y la corrección para libras de agua por libra de combustible se calcula las pérdidas por chimenea (Q_s). se requiere además la temperatura de chimenea

13 - Con los valores obtenidos del aire requerido para la combustión y de humedad por libra de combustible se calculan las libras de aire húmedo por libra de combustible

14 - Con las libras de aire húmedo por libra de combustible se calcula la entalpia del aire (H_a).

15 - Con el dato de temperatura del combustible se calcula la entalpia del combustible (H_f).

16 - Con el dato de temperatura del medio de atomización se calcula la entalpia del medio de atomización (H_m)

17 - A partir de los datos de termografía, área superficial del calentador y velocidad del viento se obtienen las pérdidas por radiación (Q_r).

18 - Con los valores de Q_s , Q_r , H_a , H_f , H_m y LHV se evalúa la eficiencia del calentador y se obtiene el balance energético.



Evaluación energética en calentadores a fuego directo (Método analítico caso comb. gas)

Para combustibles gaseosos (ver esquema No. 2), el procedimiento es como sigue

- 1 - La evaluación básica para la evaluación se da en el formato 3 "D" del anexo II
- 2 - Contando con el análisis del combustible (composición del comb), se obtiene el valor de LHV
- 3 - Con el por ciento en peso del combustible gas se calcula el aire requerido para combustión multiplicando estos datos por los valores correspondientes de aire requerido.
- 4 - Se calcula el dióxido de carbono, agua y nitrógeno formado multiplicando el por ciento en peso de gas combustible con los valores correspondientes de formación de dióxido de carbono, agua y nitrógeno
- 5 - Con la medición de la temperatura del aire se obtiene la presión de vapor
- 6 - Con la medición de humedad relativa y el cálculo de presión de vapor se obtiene la humedad del aire.
- 7 - Con el cálculo de humedad del aire y el aire requerido para combustión se calcula la humedad por libra de combustible.
- 8 - Con el cálculo de humedad por libra de combustible y el cálculo de agua formada se calculan las libras de agua por libra de combustible.
- 9 - A partir de la medición del por ciento de oxígeno y el cálculo de libras de agua por libra de combustible, se calculan las libras de exceso de aire por libra de combustible (corrección por exceso de aire) y se obtiene el por ciento de exceso de aire.
- 10 - Se realiza el cálculo para corrección de las libras de agua por libra de combustible.
- 11 - A partir de la obtención de dióxido de carbono y nitrógeno formados, el cálculo de libras de exceso de aire por libra de combustible y la corrección para libras de agua por libra de combustible se calcula las pérdidas por chimenea (Qs), se requiere además la temperatura de chimenea.



12 - Con los valores obtenidos del aire requerido para la combustión y de humedad por libra de combustible se calculan las libras de aire húmedo por libra de combustible

13 - Con las libras de aire húmedo por libra de combustible se calcula la entalpía del aire (H_a).

14 - Con el dato de temperatura del combustible se calcula la entalpía del combustible (H_f)

15 - A partir de los datos de termografía, área superficial del calentador y velocidad del viento se obtienen las pérdidas por radiación (Q_r)

16 - Con los valores de Q_s , Q_r , H_a , H_f , H_m y LHV se evalúa la eficiencia del calentador y se obtiene el balance energético.



El calculo de la eficiencia térmica de un calentador a fuego directo, se define como:

$$\eta = \frac{QABS.}{QLIB.} \times 100$$

El calor absorbido por el fluido de proceso en un calentador a fuego directo se puede definir como:

$$QABS.=QLIB.-QPERD.$$

1

Donde

QABS = Calor absorbido por el fluido de proceso (Btu/h)

QLIB = Calor liberado por el combustible (Btu/h)

QPERD =Calor total perdido en el equipo (Btu/h)

El Calor liberado por el combustible (QLIB.) se puede definir como:

$$QLIB.= (LHV+HA+HF+HM) \times \text{flujo de comb.}$$

2

Donde

Flujo de comb =Es el flujo de combustible (lb/h), reportado en el formato 3 "A" y "D".

LHV= Poder calorífico bajo del combustible (Btu/lb. comb.).

HA=Calor sensible del aire a la entrada del calentador (Btu/lb. comb.).

HF=Calor sensible del combustible a la entrada del calentador (Btu/lb. comb.).

HM=Calor sensible del medio de atomización a la entrada del calentador (Btu/lb. comb.).

El LHV del combustible se puede calcular para dos casos:

Combustible líquido:

$$LHV=HHV-(9537.3) \times \frac{\% H_2}{100}$$

3



Donde

LHV= Poder calorífico alto del combustible (Btu/lb comb), determinado experimentalmente por un calorímetro, reportado en la bitácora operacional y en el formato 3 "B" y "D".

% H2= Por ciento de H2 en el combustible obtenido a partir de la ecuación.

$$\% H2 = \frac{100 - \% \text{ de impurezas}}{\text{relación C/H} + 1}$$

4

Donde

% de impurezas= Por ciento en peso de componentes en el combustible tales como sodio, azufre, cenizas vapor de agua etc., se determina el porcentaje en un análisis del combustible, se reporta en el formato 3 "B" y "D".

Relación C/H=Es la relación entre el peso del carbono y el peso del hidrógeno en un hidrocarburo, se determina por un análisis de combustible, se reporta en el formato 3 "B" y "D"

Combustible gas:

$$LHV = \sum (\% \text{ en volumen comp. } i \times \text{Calor de combustión del comp. } i)$$

5

Donde

% en vol comp. i= Por ciento en volumen de un componente del combustible, determinado por análisis del combustible, reportado en el formato 3 "B" y "D".

Calor de comb = Calor liberado por el componente i al reaccionar con el O2 durante la combustión; reportado en tablas de propiedades termodinámicas para varios componentes.

El Calor sensible del aire (HA) a la entrada del calentador se puede calcular a partir de.

$$HA = CP \text{ AIRE} \times (TT - 60) \times [(\text{lb. Aire húmedo/lb. comb.}) + (\text{lb. Exceso de aire/lb. comb.})]$$

6



Donde

CP AIRE=Capacidad calorífica del aire (Btu/lb. comb °F), se obtiene a partir de tablas termodinámicas. (el valor empleado es de 0.24)

TT=Temperatura del aire (°F) antes de entrar al calentador, se reporta en el formato 3 B`y`D

lb Aire humedo/lb. comb =Son las libras de aire, incluyendo humedad, requeridas para quemar el combustible, se calculan a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Lb. Aire húmedo/lb. Comb.} = \frac{\text{Aire requerido}}{1 - \text{Humedad en aire}}$$

7

Donde:

Aire requerido=Son las libras de aire estequiométricas para la combustión, se obtienen a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Aire requerido} = \sum [\% \text{ peso componente } i \times \text{cantidad de aire estequeométrico requerida por el componente } i]$$

8

Humedad en aire=Es la humedad contenida en una libra de aire y se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad en aire} = \frac{\text{P. de vapor (H}_2\text{O)}}{14.69} \times \frac{\text{Humedad rel.}}{100} = \frac{18}{28.85}$$

9



Donde

P de vapor (H2O)=Presión de vapor del agua (psia), calculada a partir de la temperatura del aire a la entrada del calentador (TT).

Humedad relativa= Humedad del medio ambiente reportada en porcentaje, evaluada experimentalmente en el lugar donde se encuentre el equipo, se reporta en el formato 3 "B" y "D"

Lb. Exceso de aire/lb. comb.= Son las libras de exceso de aire necesarios para la combustión por libra de combustible y se calcula a partir de la siguiente ecuación

$$20.95 - \% O_2 \quad [(1.6028 x \text{-----} + 1$$

Lb. Exceso de aire/lb. comb.=

$$(28.85x\% O_2) \left(\frac{N_2 \text{ formado}}{28} + \frac{CO_2 \text{ formado}}{44} + \frac{H_2O \text{ formado}}{18} \right)$$

lb. Agua
lb. Aire requerido)]

10

Donde

% O₂ = Por ciento de oxígeno del análisis de los gases de chimenea, se reporta en el formato 3 "B" y "D".

N₂ y CO₂ formados= Son las libras formadas de estos componentes por libra de combustible, se obtienen a partir de la siguiente ecuación:

$$N_2 \text{ o } CO_2 \text{ requerido} = \Sigma[\% \text{ peso componente } i \times \text{cantidad de } N_2 \text{ o } CO_2 \text{ estequiométrica requerida por el componente } i]$$

11



H₂O formada(ref a ec. 10)= Son las libras de agua formada por libra de combustible, se obtiene a partir de la siguiente ecuación

Lb. de H₂O/lb. de comb.=

Agua formada/lb. comb. + lb. de humedad/lb. Comb. +
relación de atomización.

12

Donde

Agua formada/lb. comb.=Son las libras de agua formada por libra de combustible, se obtienen de la siguiente ecuación

H₂O formado = \sum [% peso componente i x cantidad de H₂O estequiométrico formado por el componente i]

13

Lb. de humedad /lb comb.= Son las libras de agua por libra de combustible que entran al equipo por medio del aire, se obtienen de la siguiente ecuación

Lb. de humedad/lb. de comb.=

Lb. Aire húmedo/lb. comb.(ec. 7) - aire requerido(ec. 8)

14



DIAGNOSTICO ENERGÉTICO

Relación de atomización= Es la cantidad en libras de vapor de agua por libra de combustible para atomizarlo, este valor es comúnmente utilizado para combustibles líquidos, se reporta en el formato 3 "B" y "D".

El Calor sensible del combustible (HF) a la entrada del calentador se puede calcular a partir de:

$$HF = CP \text{ COMB.} \times (TF - 60)$$

15

Donde:

CP COMB = Capacidad calorífica del combustible (Btu/lb comb. °F), se obtiene a partir de tablas termodinámicas. utilizando variables como presión de entrada y composición del combustible, reportadas en los formatos 3 "B" y "D".

TF = Temperatura del combustible (°F) antes de entrar al calentador, se reporta en los formatos 3 "A" y "D".

El Calor sensible del medio de atomización (HM) a la entrada del calentador se puede calcular a partir de:

$$HM = (H \text{ del medio de atom. @ } TM - 1087.7) \times \text{relación de atomización.}$$

16

Donde:

H del medio de atom. @ TM = Es la entalpía del medio de atomización a la temperatura de entrada del medio al equipo (TM reportada en los formatos 3 "B" y "D"), la cual se obtiene de tablas de vapor



Relacion de atomización= Es la cantidad en libras de vapor de agua por libra de combustible para atomizarlo, este valor es comúnmente utilizado para combustibles líquidos, se reporta en el formato 3 'B' y 'D'

El Calor total perdido en el equipo (QPERD) se puede definir como

$$QPERD.=QR.+QS.$$

17

Donde

QR = Calor perdido a traves de paredes del calentador (Btu/h).

QS = Calor perdido por los gases de chimenea (Btu/h)

Para calcular el calor perdido por los gases de chimenea (Qs) se sigue la siguiente ecuacion

$$QS=\sum(Lb. de componente formado i x H del componente i @ TCHIM.)$$

18

Donde:

Lb De componente formado i= Son las libras de los componentes formados estequiométricamente en la combustión que salen por la chimenea.

H del componente i @ TCHIM =Es la entalpia del componente i formado de la combustión, a la temperatura de salida de los gases de chimenea, reportada en los formato 3 "B" y "D".



Para calcular el calor perdido por las paredes del equipo (QR) se sigue la siguiente ecuación:

$$QR = (QPR + QPC) \times A$$

19

Donde:

A = Es el área superficial del calentador (ft²), se reporta en el diagrama de temperatura de pared

QPR = Calor perdido por radiación (Btu/h ft²)

QPC = Calor perdido por convección (Btu/h ft²)

El calor perdido por radiación (QPR) se calcula por la siguiente ecuación:

$$QPR = \sigma \times \epsilon \times [(T_{sup.} + 460)^4 - (T_{amb.} + 460)^4]$$

20

Donde:

σ = Constante de Stefan-Boltzman = (0.173 x 10⁻⁸ Btu/h ft² °R⁴)

ϵ = Emisividad.

T_{sup} = Temperatura de pared superficial (°F), reportada en el diagrama de temperaturas de pared (ver "Desarrollo del Diagnóstico").

T_{amb} = Temperatura ambiente (°F), reportada en el formato 3 "B" y "D"

El calor perdido por convección forzada (QPC) se calcula por la siguiente ecuación:

$$QPC = 0.296 \times (T_{sup.} - T_{amb.})^{1.25} \times fV$$

21



Donde

T_{sup} = Temperatura de pared superficial ($^{\circ}F$), reportada en el diagrama de temperaturas de pared.

T_{amb} = Temperatura ambiente ($^{\circ}F$), reportada en el formato 3 "B" y "D".

f_v = Factor de corrección por viento, el cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_v = [V + 69 / 69] \times 0.5$$

22

Donde

V = Es la velocidad del viento (ft/min.), la cual se estima en el lugar donde se encuentra el equipo instalado, y se reporta en el formato 3 "B" y "D"



DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN UN CALENTADOR A FUEGO DIRECTO.

Se tiene el siguiente caso típico de evaluación de un calentador a fuego directo del cual se recabó la siguiente información

1 Descripción de la actividad.

1.1 Objetivo.

El objetivo de esta parte del informe, es presentar la documentación de campo que se utilizó como base para la realización del diagnóstico energético del calentador.

1.2 Alcance

La información recopilada en campo abarcó lo siguiente:

- 1.2.1 Datos del proceso de combustión.
- 1.2.2 Datos de la corriente de proceso.
- 1.2.3 Datos del calentador a fuego directo

2 Resultados de la actividad.

La información sobre condiciones de operación se indican a continuación

2.1 Tipo de combustible.

El combustible empleado es gas residual seco. Sus propiedades y poder calorífico dependen de su composición. La tabla No. 1, describe su composición

TABLA No. 1

CARACTERISTICAS DEL COMBUSTIBLE EMPLEADO EN EL CALENTADOR.

COMPOSICION (% EN MOL.)								
C1	C2	C2=	C3	C3=	iC4	nC4	H2	N2
25.3	1.87	1.28	0.311	0.06	0.016	0.023	66.73	4.41



2.2 Flujo de combustible.

La siguiente tabla muestra los consumos de gas combustible, así como las temperaturas la zona de radiación y convección del horno BA-X datos obtenidos de la información proporcionada por el Centro de Trabajo

TABLA No. 2
CONDICIONES DE OPERACION DEL CALENTADOR BA-X DE ACUERDO A
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CENTRO DE TRABAJO.

, Promedio mensual

FECHA	FLUJO DE GAS COMBUSTIBLE M3/HR	TEMPERATURA GASES DE CHIMENEA °C	TEMPERATUR A ZONA DE CONVECCIÓN °C	TEMPERATURA ZONA DE RADIACIÓN °C
1	7501.5	294.0	722.0	913.5
2	7331.3	291.5	710.5	907.0
3	7696.5	307.3	745.0	926.5
4	7639.5	306.7	737.8	919.8
5	7835.5	307.8	733.5	915.5
PROMEDIO	7600.86	301.5	729.8	916.5

2.3 Tipo de influente .

Del análisis cromatográfico proporcionado por el centro de trabajo se tiene la composición del influente promedio del calentador BA-X el cual se muestra en la tabla No. 3



TABLA No 3
 CARACTERISTICAS DEL INFLUENTE OBTENIDO
 EN EL CALENTADOR BA - X.

COMPOSICION (% EN MOL.)					
CO2	METANO	ETILENO	ETANO	PROPILENO	PROPANO
0.01	1.96	0.081	93.4	0.24	3.59

2.4 Composicion de gases de chimenea

Los resultados de la composición de los gases de chimenea se presentan en la siguiente tabla.

TABLA No. 4
 COMPOSICION DE LOS GASES DE CHIMENEA

Componente	% vol
Oxígeno	3.6
Dióxido de Carbono	6.4
Nitrógeno	90.0
NOx (ppm)	42
Aire en % de exceso	18

TABLA No. 5
 CAPACIDAD DE DISEÑO

	ZONA RADIACIÓN	ZONA CONVECCIÓN	VAPOR (BFW)
ALIMENTACIÓN Lb/H	42 980	42980	50570
TEMPERATURA ENTRADA °F	1250	240	306
PRESIÓN ENTRADA PSIA	50.2	85.2	767
TEMPERATURA °F SALIDA	1565	1250	509
PRESIÓN SALIDA PSIA	30	50.2	740
CAIDA DE PRESIÓN PSI	20.2	35	27
CALOR ABSORBIDO MMBTU/H	45.67	30.53	14.6



TABLA No. 6
CAPACIDAD ACTUAL

	ZONA RADIACIÓN	ZONA CONVECCIÓN	VAPOR (BFW)
ALIMENTACION Lb/H	45908	45908	55115
TEMPERATURA ENTRADA °F	1022	220	306
PRESIÓN ENTRADA PSIA	46	78.7	683
TEMPERATURA °F SALIDA	1526	1022	494
PRESIÓN SALIDA PSIA	33.7	46	658
CAIDA DE PRESIÓN PSI	12.3	32.7	25
CÁLCOR ABSORBIDO MMBTU/H	61.89	12.41	26.51

TABLA No. 7
CAPACIDAD ACTUAL

CORRIENTE	DISEÑO LB/H	OPERACIÓN ACT LB/H
ALIM. HORNO	42980	45908
VAP. DILUCIÓN	9918	12763
FLUIDO PROC.	33062	33145



Los mapeos de temperatura mostrados en las siguientes cuatro páginas, de una forma indirecta, reflejan el estado físico y hermeticidad -naturaleza y volumen de fracturas- del refractario del equipo

Una revision somera manifiesta inmediatamente un deterioro importante en dicho componente.

Figura No. 16
TEMPERATURAS DE
PARED °C
(LADO ESTE)

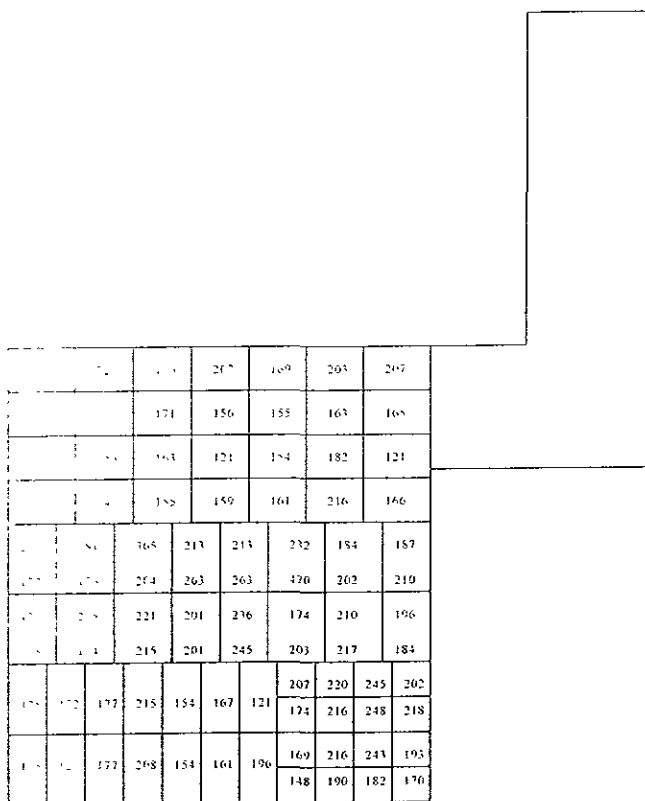





Figura No. 17
 TEMPERATURAS DE
 PARED °C
 (LADO OESTE)



		2	185	199	218	208		
	11	11	168	222	191	181		
	11	11	171	224	218	209		
	11	12	188	201	218	224		
	21	21	229	215	209	189	203	
	11	186	213	211	181	139	133	
	115	152	152	209	175	151	173	
286	179	177	244	245	247	213	169	234



Figura No. 18
 TEMPERATURAS DE PARED
 LADO NORTE °C

195	170
155	167
126	179
330*	247*
183	199
180	180
255	252
243	245
254	242
183	153
118	123

* Puntos calientes detectados por análisis termográfico



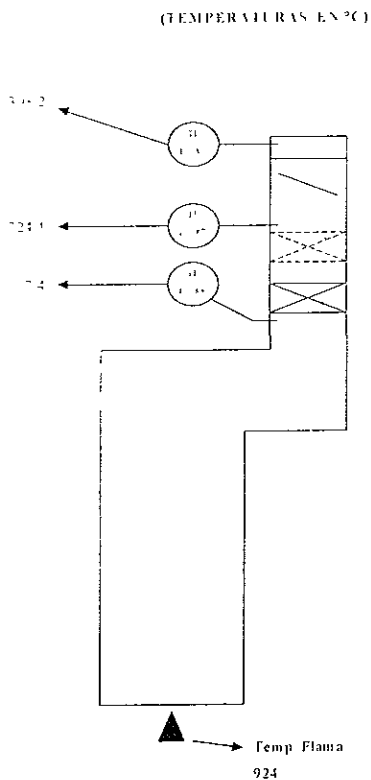
Figura No. 19
 TEMPERATURAS DE PARED
 LADO SUR °C

209	203
210	197
203	196
207	212
252	198
241	222*
226	209
219	225*
217	245
126	214
	171
	220*
	128

* Puntos calientes detectados por análisis termográfico.



FIGURA No. 20
PERFIL DE TEMPERATURAS DE GASES DE COMBUSTIÓN
(CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN)





Diagnóstico energético.

En este apartado se describirá el diagnóstico energético que preliminarmente se determinó en el calentador a fuego directo a partir de la evaluación energética cuantitativa en sitio, así como la evaluación energética cualitativa (inspección visual)

Alcance.

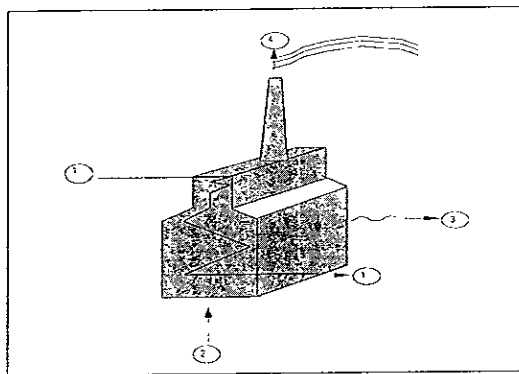
- Elaboración del balance total de energía del calentador a fuego directo BA-X con apoyo de la herramienta computacional incluida en la METODOLOGÍA
- Elaboración del diagnóstico energético con resultados de la evaluación energética cuantitativa y cualitativa (inspección visual) del equipo BA-X.

Balance total de energía

En la figura No. 2, y tabla No 8 se muestra el contenido energético de cada una de las corrientes de entrada y salida del calentador bajo condiciones actuales de operación, en la figura No 3 se muestra la distribución energética (diagrama de Sankey) de diseño del calentador

La eficiencia energética evaluada, es del orden de 82.73% Las pérdidas por radiación considerando el estado físico actual del calentador, se evaluaron en un 4%

Figura no. 21
BALANCE ENERGÉTICO EN EL CALENTADOR A LAS CONDICIONES
ACTUALES DE SERVICIO



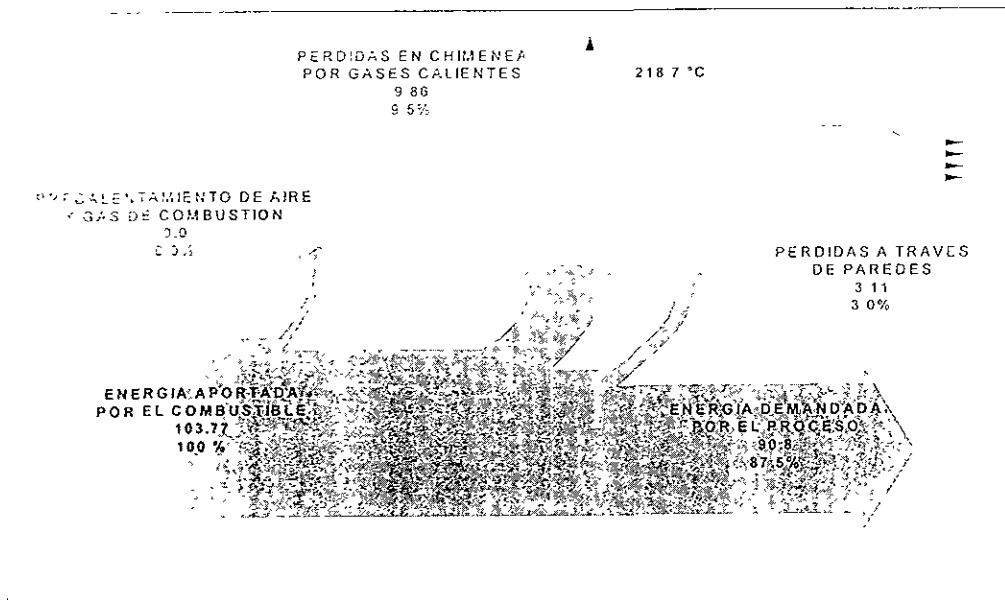


El contenido entálpico de cada una de las corrientes bajo las condiciones de operacion actual, se detalla a continuación.

TABLA No. 8

RESULTADOS BALANCE DE ENERGÍA.			
CORRIENTE No	DESCRIPCIÓN	ENTALPIA ACTUAL (MM Btu/hr)	ENTALPIA DISEÑO (MM Btu/hr)
1	Calor Absorbido por el fluido de proceso	100 81	90 8
2	Calor Liberado por el Combustible	121 85	103 77
3	Pérdidas a través de paredes	4 87	3 11
4	Gases de Combustion a la salida de chimenea (incluye exceso de aire)	16 22	9 86

Figura no. 22
DIAGRAMA DE SANKEY A CONDICIONES DE DISEÑO
(MMBTU/h, %)





Diagnóstico energético del calentador a las condiciones actuales de operación.

El diagnóstico energético del calentador comprende la realización de

Una evaluación energética cuantitativa y una cualitativa (visual), ambas conjuntarán resultados de los cuales se podrá diagnosticar el estado energético del calentador. Se hizo una evaluación energética analítica en campo con el levantamiento de datos (levantamiento realizado con el apoyo de formatos anexos) mediante el uso de la herramienta computacional, esto permitirá conocer el estado energético del equipo así como la eficiencia térmica actual, con este ejercicio in situ se ha podido detectar puntos de oportunidad para ahorro energético.

A) EVALUACION ENERGÉTICA CUANTITATIVA

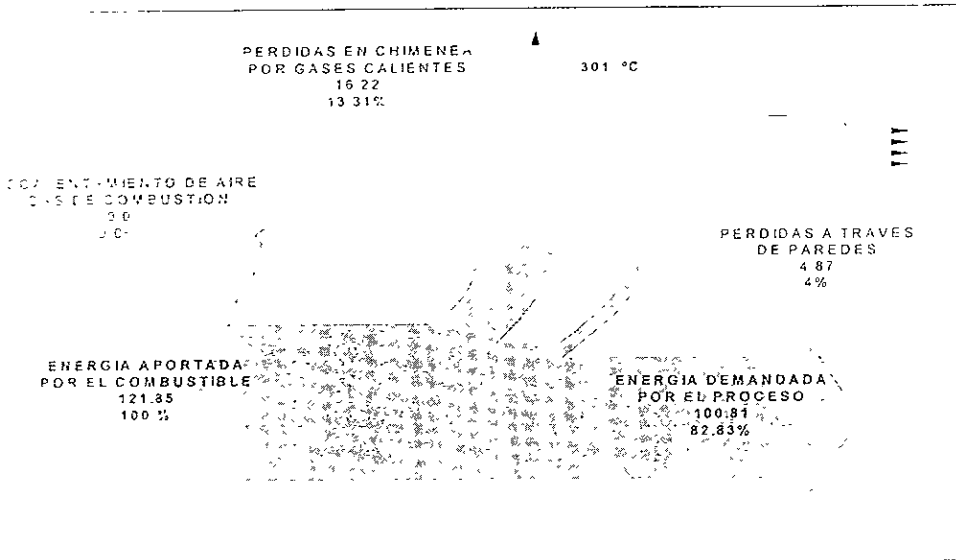
En la figura No. 4, el diagrama de Sankey representa la distribución energética del calentador BA-X para las condiciones actuales de operación encontrando que

La temperatura de chimenea detectada en la evaluación fue de 301°C, mientras que la temperatura de chimenea por diseño para este equipo es de 218.7°C, presenta un incremento de 82.3°C en relación a su diseño.

La eficiencia térmica actual calculada mediante el empleo de la herramienta computacional, es de 82.73%, que comparada con la eficiencia térmica por diseño de 87.5% se aprecia una diferencia de 4.77% para poder alcanzar la eficiencia recomendada por diseño.



Figura no. 23
DIAGRAMA DE SANKEY A CONDICIONES ACTUALES DE SERVICIO
(MMBtu/h, %)



La siguiente tabla resume los conceptos principales obtenidos al ser aplicada la herramienta computacional de cálculo, con información actual de operación

TABLA No. 9
RESUMEN

CONCEPTO	VALOR
% EXCESO DE AIRE	18.1
EFICIENCIA TÉRMICA	82.73

B) EVALUACIÓN ENERGÉTICA CUALITATIVA

A continuación se mencionan algunos de los principales aspectos que contribuyen a la baja eficiencia del calentador.

- 1) *Existencia, operabilidad y suficiencia en la instrumentación del calentador a fuego directo.*



INSTRUMENTO
Indicacion de temperatura de entrada y salida del fluido de proceso
Indicadores de presión de entrada y salida del fluido de proceso
Indicador de temperatura de gases de combustión a la chimenea
Indicador de tiro en diferentes puntos del calentador
Analizador continuo de O2 en gases de combustión
Medidor del flujo de gas combustible
Medición/cuantificación flujo de carga de etano al calentador.
Medición/cuantificación flujo de agua (BFW) a la zona de convección.
Medición P/T para eficientar balance térmico en sección de recuperación de energía

EXISTENCIA Y OPERATIVIDAD
Cuenta con monitoreo de temperatura a la salida de cada uno de los cuatro serpentines que envían la señal al DCS también se tiene monitoreo remoto en el paso de convección a radiación en cada uno de los pasos
Para la entrada del fluido de proceso, se cuenta con indicación en cada uno de los serpentines y la señal va al DCS. A la salida se cuenta con indicación local (después de los generadores de vapor).
Se cuenta con un sensor de temperatura en la base de la chimenea; la señal es enviada al DCS (TI-100-86), de hecho es posible obtener el perfil de temperatura completo de los gases de combustión. Ver fig. 4 A
Se cuenta con varios indicadores locales los cuales permiten medir el tiro en la sección de radiación así como antes y después de la sección de convección. Ver fig. 4 B
Se cuenta con el instrumento. La señal se tiene en el cuarto de control y el monitoreo es continuo. Su localización actual no es la más conveniente (salida sección de convección) lo adecuado sería tenerlo en la zona del arco (entrada a convección)
Se cuenta con un elemento de medición de flujo que envía la señal al DCS (FR-151)
Si se cuenta y es suficiente.
Si se cuenta y es suficiente
Si se tiene

2) Inspección visual del estado físico del calentador:

- se detectaron múltiples puntos calientes y zonas oxidadas a lo largo de la pared del calentador.

3) Inspección visual del estado operacional del calentador:

- Este calentador cuenta con 128 quemadores y todos están encendidos.



VI.- Medidas de ahorro de energía.

De los resultados obtenidos hasta el momento con la información proporcionada por el centro de trabajo, se ha detectado lo siguiente:

Considerando que el horno acaba de entrar de mantenimiento, los resultados obtenidos en sitio, muestran un equipo con un nivel de eficiencia regular, siendo esto comprobado al tener la información de diseño y el levantamiento de la inspección visual como recomendación se consideran las siguientes medidas.

VII - BENEFICIOS

Con base a las medidas recomendadas anteriormente y de acuerdo a los resultados mostrados en el análisis energético se tiene:

La tabla No 10 muestra los ahorros que se obtendrían, al aplicar las medidas anteriormente mencionadas, mismas que servirán para alcanzar la eficiencia térmica de diseño

TABLA No. 10

Perdida de energía actual	3.47 MMBtu/h
Ahorro en energía	3.47 MMBtu/h
Poder calorífico del gas (promedio)	453 Btu/ft ³
Ahorro en gas	7671 ft³/h (66.3 MM PCS anuales)
Equivalente	\$994,120.00 anuales

Comentarios y observaciones.

A continuación se presenta la comparación de requerimientos de energía (MMBTU/H) caso diseño contra los de operación actual, evaluados a partir del perfil de temperatura en el calentador:

TABLA No. 11

	ZONA DE RADIACIÓN	ZONA DE CONVECCIÓN	BFW	TOTAL
DISEÑO				
MMBTU/H	45 67	30 53	14 6	90.8
ACTUAL				
MMBTU/H	61 89	12 41	26 51	100 81



Comparación de los gastos en LB/H caso diseño contra operación actual.

COMPONENTE	DISEÑO LB/H	OPERACION ACT LB/H	% DE AUMENTO RESPECTO A DISEÑO
ALIM. HORNO	42980	45908	11.0
VAP. DILUCIÓN	9918	12763	28.0
FLUIDO PROC.	33062	33145	0.25

La revisión y análisis de la información incluida, en las figuras precedentes, permite elaborar conclusiones inmediatas:

En principio, conviene recordar que el calentador opera actualmente con 17.5% de exceso de vapor de agua. Esto es, la relación vapor de agua/hidrocarburos, es 17.5% mayor al diseño establecido por diseño.

La circunstancia operativa comentada en el párrafo anterior, aunada al deterioro sensible del material refractario –evidenciable cuando se analizan el mapeo de temperaturas de pared y el aspecto físico en algunas áreas de la cubierta-, se reflejan en los hechos descritos a continuación.

- ♦ Actualmente, el equipo requiere una liberación de calor 17.4% mayor a la de diseño para compensar el porcentaje de exceso de vapor de agua aumentada con la corriente de proceso. Evidentemente, la mayor liberación de calor en el hogar del equipo, propicia que las pérdidas energéticas vía los gases de combustión en chimenea, se incrementen en un 64.5% (9.86 MMBtu/hr a condiciones de diseño contra 16.22 MMBtu/hr en circunstancias actuales).
- ♦ Por otro lado, la cantidad de oxígeno medida en los gases de chimenea –3.6% mol en base seca-, aunque determinación puntual, permite afirmar que en promedio el calentador está operando actualmente con un 18% de aire en exceso. Como es sabido, dicho porcentaje es ligeramente mayor que el rango normal que debe manejarse usualmente de acuerdo al servicio –en promedio 15% para el quemado de gas natural-.
- ♦ Finalmente, las pérdidas de calor por radiación y convección a través de paredes, también son contribuyentes sensibles en la reducción de eficiencia. La estimación de dichas pérdidas oscila en el orden de 4% que es un promedio elevado. Se ha incluido un esquema en el que se visualiza el valor evaluado mediante un programa que determina las pérdidas de pared según las ecuaciones mostradas en el capítulo “Diagnóstico Energético”.

El estado físico y operacional actual del calentador, obliga a reparar en diversos aspectos que deberán ser atendidos a la brevedad por el personal responsable del centro operativo.



CONTROL DE TEMPERATURA DEL EFLUENTE DEL CALENTADOR.

Los comentarios del personal de planta en relación al control de dicha variable se resumen a que por etapas o lapsos, dicha actividad se vuelve complicada y que por ende demanda atención particular.

Segun lo apreciado durante la visita de inspección, las causas estimadas a relacionadas pudieran ser:

- ♦ Calidad en el patrón permanente de flama por mala operación o ajuste en algunos quemadores. Posiblemente esto tenga relación con la aparentemente deficiente distribución de presión en subcabezales y/o ramales que alimentan el gas combustible a quemadores
- ♦ Irregularidades en boquillas de quemadores (erosión, obstrucción parcial otras)

Por el aspecto físico constatado, es posible que todos los factores en su conjunto contribuyan a dicha circunstancia operativa

En síntesis lo recomendable es que se revisen a detalle los distintos aspectos comentados

PERFIL DE TIRO EN EL CALENTADOR

A reserva de ser confirmado con el personal de planta, se presume la posibilidad de que los valores de presión -tiro- leídas en campo, no son del todo confiables. La razón de tal presunción tiene sustento en los siguientes hechos

Son incuestionables las fugas en múltiples puntos y zonas –mirillas, escotillas y demás aberturas de inspección-, del calentador. Inclusive, no son descartables áreas a lo largo de la trayectoria de los gases de combustión con presión positiva. Esto último es inferible por la presencia de manchas de humo/hollín en algunas partes del cuerpo del calentador. En un momento dado, esto se sale del ámbito de percepción del personal de operación si se tienen problemas de obstrucción en las conexiones de las tomas de tiro.

Evidentemente esto también deberá ser revisado por el personal de planta

IRREGULAR DISTRIBUCIÓN DE FLUJO DE GASES DE COMBUSTIÓN A LO LARGO DE SU TRAYECTORIA DESDE EL HOGAR HASTA LA CHIMENEA

Atribuirle al incierto perfil de tiro, conjugado con la naturaleza y magnitud de las diversas fugas comentadas líneas arriba.

Para asegurar la conversión requerida, se incrementa la liberación de calor no uniforme, favoreciendo la coquización, también seguramente no uniforme.



MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA

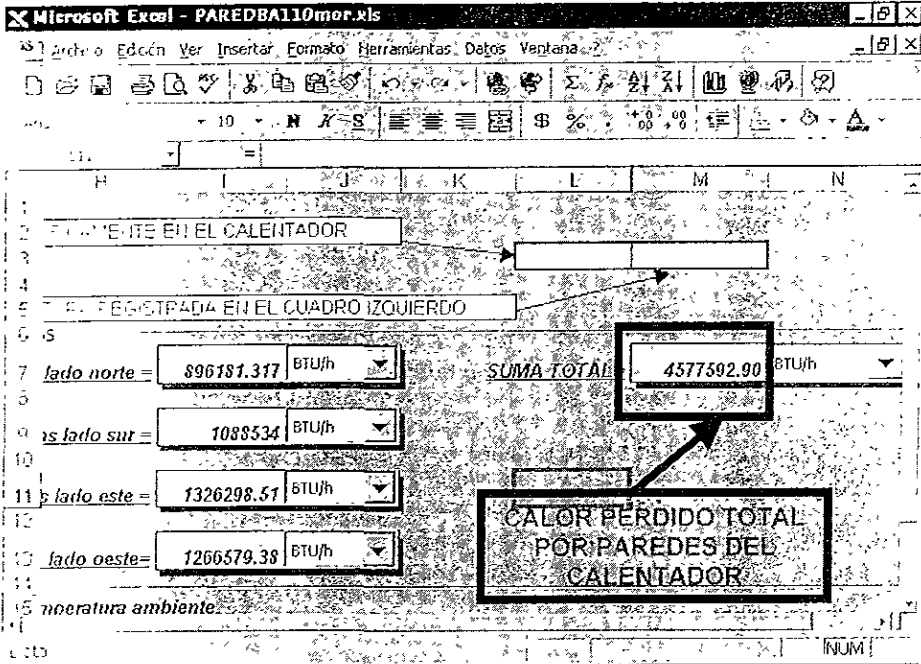
Las siguientes medidas de ahorro de energía consideradas como de nula o mínima inversión, tienen también incidencia en los aspectos operativos, de mantenimiento y de incremento en la vida útil del calentador

Es importante subrayar, que aunque dichas medidas sean de impacto moderado en el incremento de la eficiencia y en la disminución del consumo del combustible, estas permitirán mejorar las condiciones actuales de operación. Las medidas de ahorro de energía son las siguientes:

1. Monitorear y/o ajustar continuamente el tiro en el puente y en el piso del calentador de acuerdo con los valores recomendados por los tecnólogos de equipos de combustión. Un nivel de flujo de aire de combustión adecuado, se logra cuando se mantiene una presión negativa de 2.5 mm de columna de agua $-0.1'' \text{ H}_2\text{O}$ - en el arco del calentador. La regulación externa de la posición de la mampara deberá efectuarse de acuerdo al procedimiento incorporado en el anexo técnico II del informe final.
2. Reducir el exceso de aire a 15% como máximo. El porcentaje preciso lo dará el monitoreo permanente de oxígeno en los gases de combustión, tal como fue señalado líneas arriba.
3. Es importante considerar que se lleve a cabo la verificación detallada en su totalidad del estado físico del refractario, considerando esta como una buena práctica de ingeniería. La detección de temperaturas más allá de las recomendadas –en promedio 50 a 60 °C arriba de la del ambiente-, inducen a pensar en incipientes grietas y eventualmente en rupturas, caída y daño mayor.



CALCULO DE PÉRDIDAS POR PAREDES APLICANDO PROGRAMA DE EVALUACION.



El calor que se pierde por las paredes del calentador se puede ver en el esquema anterior se evaluaron 4 57 MMBtu/h, si el calor aportado por el combustible es de 121 85 MMBtu/h el valor que se obtiene por pérdidas en las paredes expresado en porcentaje es de 3.75%, sin embargo la toma de temperaturas no se hizo totalmente a la zona de convección, por lo que se puede estimar en 4% como redondeo

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA



EVALUACIÓN ECONÓMICA



EVALUACIÓN ECONÓMICA

Después de que se ha hecho y analizado el comportamiento térmico y operacional de un calentador a fuego directo, queda por realizar un análisis económico. Este análisis consiste en cuantificar el ahorro que se tendría si se aplicarán primeramente medidas operacionales, es decir que se eficientará la operación del calentador aplicando correcciones a las variables controlables del equipo (tal como control de tiro, exceso de aire, etc.), o de inversión, que consisten en invertir cierto capital (principalmente en equipo de control) para mejorar la eficiencia y funcionamiento del equipo. En este último punto se hace un análisis adicional para verificar si el ahorro logrado al aplicar medidas con inversión puede financiar las implementaciones hechas recuperando el desembolso a corto o mediano plazo. Esto depende de la inversión hecha, por ejemplo si fuera un revamp del calentador lo que se requiriera el tiempo de recuperación de la inversión sería aceptable a mediano plazo, si fuera la instalación de un control de mampara automático el tiempo de recuperación de la inversión sería aceptable a corto plazo.

La siguiente secuencia muestra como se podría estimar el ahorro, tanto de manera energética como económica.

1 - Se cuantifica el consumo energético de operación realizado al quemar combustible. Esto se hace por medio del flujo del combustible cuando el calentador está operando y el poder calorífico del combustible (según su composición).

$$\text{Flujo de combustible (M/T)} \times \text{Poder Calorífico } ([M^*L^2/T^2]/M)$$

$$\text{Flujo de combustible (L3/T)} \times \text{Poder Calorífico (M/[T^2]*L)}$$

Este consumo energético se obtiene en unidades energéticas (como Btu, Kcal, etc.) por unidad de tiempo ($[M^*L^2/T^2]/T$).

2 - A partir de la temperatura de chimenea, exceso de aire y pérdidas por radiación previamente obtenidos se evalúa en porcentaje el ahorro que se obtendría en combustible bajo los siguientes criterios:

- I Por cada 15% de exceso de aire disminuido comparado contra el de diseño, se ahorra un 1% de combustible, el porcentaje se puede expresar en la siguiente fórmula. (exceso de aire operacional – exceso de aire diseño / 15)
- II Por cada 35 °C de temperatura disminuida comparada contra la de diseño, se ahorra un 1% de combustible, el porcentaje se puede expresar en la siguiente fórmula: (temperatura de chimenea operacional – temperatura de chimenea de diseño / 35).



- III. El ahorro que se tendrá en combustible por disminuir las pérdidas en paredes (pérdidas por radiación) será proporcional a la cantidad de energía disminuida, solo que esa energía disminuida se expresará en cantidad de combustible, es decir si yo ahorro por ejemplo 1 MMBtu/h al mejorar las condiciones del refractario del calentador esa será la cantidad de combustible que ahorro si la transformo a flujo con el poder calorífico del mismo combustible que estoy utilizando. Este último punto estará en función de que dicho ahorro no se pierda por chimenea, es decir que la temperatura de los gases de combustión que se desalojan se mantenga o se aproxime a la de diseño

3 - A la eficiencia y del balance energético del calentador en operación previamente calculada (ver secuencia de cálculo en el capítulo diagnóstico energético o aplicación de programa de evaluación de eficiencia energética) se le aumentan los puntos porcentuales que se calculan mediante los incisos I. y II del punto anterior, con esta nueva eficiencia y manteniendo la cantidad de energía aprovechada por el proceso (es decir la energía que el fluido de proceso absorbe) se calcula la cantidad de energía que se libera del combustible, esto con la siguiente fórmula: (energía absorbida por el fluido de proceso / nueva eficiencia calculada) esta energía calculada se puede transformar en flujo de combustible a partir del poder calorífico del mismo, este flujo será menor que el flujo de operación que se tenga en el calentador si el exceso de aire y la temperatura de chimenea de operación son mayores que el exceso de aire y temperatura de chimenea de diseño.

4 - Haciendo la diferencia entre el flujo de combustible de operación y el flujo de combustible obtenido en el punto anterior se obtiene el ahorro de combustible por unidad de tiempo, este ahorro se puede transformar en dinero por unidad de tiempo sabiendo el precio del combustible empleado según la siguiente fórmula: (flujo de comb. de operación - flujo de comb. de ahorro) * precio de combustible.

5 - El ahorro de combustible también se puede transformar en ahorro de energía multiplicando el ahorro de combustible por su poder calorífico, obteniendo un flujo de energía que se ahorra por unidad de tiempo.

Con el ahorro de energía y las recomendaciones de inversión que se hayan emitido o considerado (por ejemplo, comprar medidores de tiro o controles automáticos de mampara, cambiar refractario, etc.) se puede evaluar la factibilidad de dicha inversión mediante el siguiente análisis.

Valor presente neto (VPN): Valor monetario que resulta de la diferencia entre la suma de los flujos descontados y la inversión inicial, se calcula con la fórmula:

$$VPN = inversión - \left[\sum_{n=1}^n \frac{FNE}{(1+i)^n} \right] - VS / (1+i)^n$$

1



Donde

inversión Es la cantidad monetaria que se requiere para la implementación de las recomendaciones para eficientar el calentador

í-NE (Flujo descontado). Son los flujos netos de efectivo que se tienen por concepto de ganancia (en este caso ahorro) durante un periodo de tiempo (comunmente un año).

n Periodo de tiempo

S (Valor de salvamento): Es el valor fiscal que tendrá el activo al finalizar el tiempo de vida útil del mismo.

r Tasa de interés: puede ser la tasa mínima aceptable (TMAR*) o la tasa interna de retorno (TIR)

Tasa mínima aceptable (TMAR*): Es la tasa mínima de ganancias o rendimiento de una inversión considerando la inflación y un índice de riesgo, se calcula a partir de la siguiente ecuación

$$TMAR = INDICE_INFLACIONARIO + INDICE_DE_RIESGO \quad (2)$$

Tasa interna de retorno (TIR): Es la tasa que hace al VPN=0 o iguala los flujos descontados con la inversión inicial.

Sea como ejemplo el calentador analizado en la sección del diagnóstico energetico (caso típico).

Como recomendaciones con inversión para el equipo BA-X se resumen la siguiente tabla.

TABLA No. 12

CONCEPTO	UNIDADES	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
		Dlls. (Pesos) _{VER NOTA}	Dlls. (Pesos) _{VER NOTA}
Control automático de mampara	1	10,500 (110,250)	10,500 (110,250)
Analizador de gases continuo	1	7,000 (73,500)	7,000 (73,500)
Quemadores (opcional)	128	7,000	896,000 (9.408 MM)

NOTA: EL TIPO DE CAMBIO CONSIDERADO ES DE 10.5 PESOS/DOLAR

El ahorro estimado para el equipo BA-X se resume en la siguiente tabla.



TABLA No. 13
AHORRO EN CALENTADOR BA-X

CONCEPTO	PARÁMETRO
Ahorro de energía	3.47 MMBtu/h
Poder calorífico	453 Btu/ft ³
Ahorro en gas	7671 ft ³ /h
	66.27 MPCs/año
Ahorro en dinero	\$ 994,050 pesos/año
	\$ 99,405 dls/año

Se analizarán dos casos en los que se considera

- Caso No. 1. Solo se consideran los dos primeros conceptos de la tabla No. 12 (control automático de mampara y medidor continuo de gases de combustión), tomando en cuenta la inflación
- Caso No. 2. Se consideran los tres conceptos de la tabla No. 12 (se incluyen quemadores), tomando en cuenta la inflación.

CASO No. 1

Sea la vida útil de los dos primeros conceptos de la tabla No. 12 igual a dos años con una inflación anualizada de 17% los ingresos por ahorro obtenidos serán los reportados en la tabla No. 14.

Tabla No. 14
INGRESOS POR AHORRO

Año	Ahorro en gas MMPC/año	Precio del gas \$/pie cúbico	Ahorro pesos MMPesos/año
1	66.27	0.01575	1.043
2	66.27	0.01837	1.217
3	66.27	0.02155	1.428
4	66.27	0.02522	1.671
5	66.27	0.02950	1.954

La depreciación y amortización a través de cada periodo se muestra en la Tabla No. 15



Tabla No. 15
DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN

CONCEPTO	INVERSION INICIAL	TASA DE DEPRECIACIÓN ANUAL (%)	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	VS AÑO 5
Costo de adquisición de equipo	\$ 110 150	50%	\$55 125	\$55 125				
Costo de adquisición de equipo	\$73 500	50%	\$36 750	\$36 750				
Costo de adquisición de equipo	\$9 408 000	10%						
TOTAL			\$91.875	\$91 875				

El balance de efectivo o estado de ahorro se muestra en la Tabla No. 16.

Tabla No. 16
ESTADO DE AHORRO

CONCEPTO	AÑOS				
	1	2	3	4	5
Ingresos por venta de MIPesos	1 043	1.221	1 428	1.671	1 955
Costos de mantenimiento	-----	-----	-----	-----	-----
Costos de operación	0.091875	0 091875			
Costos de efectivo	1 135	1 313			

La TAMAR considerada para este caso es la siguiente; con una inflación de 17% y un índice de riesgo del 10% se tiene:

$$TAMAR = 17\% + 10\% = 27\%$$

Llevando el valor presente neto a 0 y despejando la ecuación 1 se tiene la siguiente ecuación:

$$183,750 = \left[1,135,627 / (1+i) + 1,313,056 / (1+i)^2 \right]$$

3

Resolviendo la ecuación anterior para i se obtiene la TIR que para este caso es de.

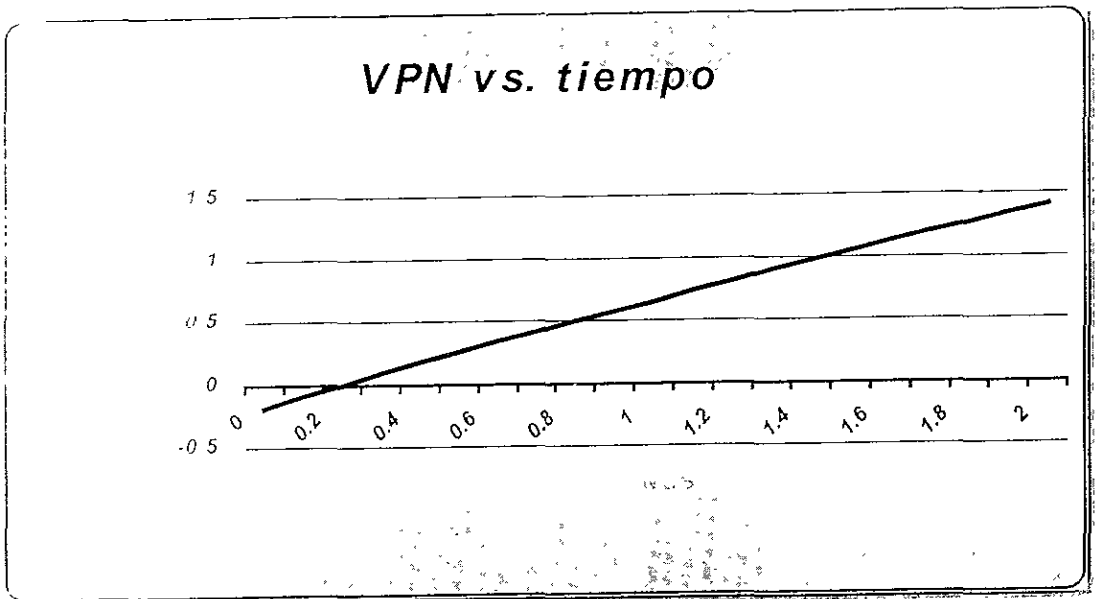
$$TIR = 617.6\%$$



Como se observa la TIR es mucho mayor que la TMAR*, dado que la TIR es la tasa mínima de rendimiento y la TMAR* es la tasa mínima aceptable entonces una TIR mayor que una TMAR* indicará que el proyecto es costeable y se puede llevar a cabo

El tiempo de recuperación de la inversión se estima graficando el negativo del valor presente neto a través del tiempo o los periodos considerados, para este caso se puede observar en la gráfica No. 1 que el tiempo de recuperación de la inversión está entre 0.2 y 0.3 años

GRÁFICA No 1 (caso No. 1)



CASO No. 2

Para este caso la inflación e ingresos por ahorro (tabla No. 14) se considera igual que en el caso No. 1, teniendo una vida útil del tercer concepto (quemadores) igual a cinco años. En la tabla No. 17 se indica la depreciación de los conceptos considerados en un periodo de cinco años



Tabla No 15
DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN

CONCEPTO	INVERSION INICIAL	TASA DE DEPRECIACION ANUAL (%)	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	VS AÑO 5
Costo de inversión de	\$ 110 150	50%	\$55,125	\$55 125				
Costo de inversión de	\$73 500	50%	\$36,750	\$36,750				
Costo de inversión de	\$9 408 000	10%	\$940,800	\$940,800	\$940 800	\$940 800	\$940,800	\$4 7MM
TOTAL			\$1 032MM	\$1 032MM	\$940 800	\$940 800	\$940,800	\$4 7MM

El balance de efectivo o estado de ahorro se muestra en la Tabla No 16

Tabla No. 16
ESTADO DE AHORRO

CONCEPTO	AÑOS				
	1	2	3	4	5
Depositos por ahorro MIMPesos	1.043	1 221	1.428	1 671	1 955
Costos de Mantenimiento	-----	-----	-----	-----	-----
Retención de inversión MIMPesos	1.032	1 032	0.9408	0 9408	5 6408
Saldo neto de efectivo MIMPesos	2.075	2 253	2 3688	2.6118	7 5958

La TAMAR considerada para este caso es la siguiente; con una inflación de 17% y un índice de riesgo del 10% se tiene:

$$TAMAR = 17\% + 10\% = 27\%$$

Llevando el valor presente neto a 0 y despejando la ecuación 1 se tiene la siguiente ecuación:

$$0 = 91 750 - \left[2,075,000 / (1+i) + 2,253,000 / (1+i)^2 + 2,368,800 / (1+i)^3 + 2,611,800 / (1+i)^4 + 7,595,800 / (1+i)^5 \right]$$

4

Resolviendo la ecuación anterior para i se obtiene la TIR que para este caso es de



TIR=17.61%

Como se observa la TIR es menor que la TMAR* en 10 puntos porcentuales, una TIR menor que una TMAR* indicará que el proyecto no es costeable y no se puede llevar a cabo. En este caso implementar nuevos quemadores no es costeable con el puro ahorro de combustible al aplicar solo medidas operacionales, como disminuir el exceso de aire; para aplicar esta opción se deben de implementar otras medidas adicionales si es que se quiere mejorar el funcionamiento del calentador, tales como un sistema de precalentamiento de aire

TMAR* NOTA La TMAR considerada en este ejemplo fue estimada, con fin de ejemplificar el caso, a partir de una inflación del 17% (inflación estimada por el Banco de México a principios de 1999 para el mismo año) y un factor de riesgo de 10%, sin embargo se debe considerar las TMAR evaluadas por las instituciones bancarias para la aprobación de créditos a proyectos. A continuación se muestran las TMAR y los Cetes a 28 días de 1998 y 1999 emitidas por el Banco de México

	TMAR (%)	CETES 28 días (%)
Prom 1998	26.89	24.8
Enero 99	35.8	32.13
Febrero 99	32.21	28.76
Marzo 99	26.87	23.47
Abril 99	22.54	20.29
Mayo 99	22.52	19.89



RECOMENDACIONES



RECOMENDACIONES

DIAGNOSTICO Y PROBLEMAS EN LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO Y QUEMADORES, ASÍ COMO SUS POSIBLES SOLUCIONES.

- **PROBLEMA:**

Flamas pulsantes

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

Se escucha un ruido estruendoso, se observan flamas excentricas y flamas quemando hacia el exterior del calentador

- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

Daños al refractario del interior del calentador y destrucción de los quemadores

- **SOLUCIÓN:**

- 1 - Reducir el suministro de gas hasta que el calentador tenga el suficiente aire de combustión para quemar el gas.
- 2 - Incrementar el tiro del calentador abriendo el damper de la chimenea
- 3 - Incrementar la liberación de calor del quemador de acuerdo al tiro disponible del calentador o para la liberación de calor requerida.

- **PROBLEMA:**

Flamas incidiendo en los tubos.

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

En el hogar del calentador se observa que las flamas inciden en los tubos.

- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

- 1 - Se crean puntos calientes en los tubos
- 2.- Los tubos tienden a fallar debido a la coquización de los tubos.

- **SOLUCIÓN:**



RECOMENDACIONES

- 1 - Limpiar el quemador
- 2 - Asegurarse que exista el aire adecuado para la completa combustión
- 3 - Revisar el barrenado de las boquillas de una posible erosión.
- 4 - Revisar que estén alineados correctamente, el quemador, las boquillas de gas y aceite.
- 5 - Revisar la presión diferencial del vapor
- 6 - Revisar la distribución de aire.

- **PROBLEMA:**

Retroceso de flama en mezcladores.

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

Se observa flama en el interior del mezclador y un sobrecalentamiento en el exterior del cuerpo del mezclador.

- **EFECTO EN LA OPERACIÓN:**

Daños a las partes del quemador y quizás se restrinja la capacidad del calentador.

- **SOLUCIÓN:**

- 1 - Incrementar la presión de gas en el quemador.
- 2.- Cambiar la boquilla de gas.
- 3 - Limpiar el quemador.

- **PROBLEMA:**

Patrones de flama irregulares

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

En el quemador

- 1 - Un lado de la flama es largo y el otro es corto en el calentador
- 2 - Algunos quemadores tienen flama larga y otros corta



- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

- 1 - Puntos calientes en el calentador
- 2 - Operación ineficiente.

- **SOLUCIÓN:**

- 1 - Limpiar las boquillas de gas o aceite.
- 2 - Ajustar todos los registros a una misma apertura.
- 3 - Ajustar el tiro del calentador para asegurarse que exista flujo de aire de combustión a través del quemador
- 4 - Revisar la alineación en el quemador de boquillas de gas/aceite.

- **PROBLEMA:**

Escurrimiento de aceite

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

Escurrimiento de aceite del quemador y formación de charcos de aceite por debajo del quemador

- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

- 1 - Operación riesgosa.
- 2 - Combustión y operación ineficiente
- 3 - Formación de coque en la garganta del quemador (regent tile).

- **SOLUCIÓN:**

- 1 - Ajustar la temperatura de aceite hasta alcanzar una viscosidad de 200 ssu o menor en el quemador.
- 2 - Ajustar la boquilla de aceite en la garganta del quemador a su posición correcta
- 3 - Ajustar la presión diferencial de vapor
- 4.- Limpiar el cañón de aceite.
- 5.- Reemplazar la boquilla de aceite si sus puertos se encuentran corroídos

- **PROBLEMA:**

Flamas largas y humeantes

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**



En el interior del hogar del calentador se observan flamas largas, sucias y humeantes que se dirigen a la zona de convección

• **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

- 1 - Combustión ineficiente
- 2 - No se consigue la temperatura de salida del producto.
- 3 - Depósitos de hollín en las superficies de los tubos.
- 4 - Formación de coque en la garganta del quemador.

• **SOLUCIÓN:**

- 1 - Ajustar la presión de vapor
- 2 - Limpiar el cañón de aceite
- 3 - Ajustar el tiro del calentador
- 4 - Ajustar la boquilla de aceite en la garganta del quemador
- 5 - Reemplazar la boquilla de aceite si sus puertos se encuentran corroídos
- 6 - Revisar la distribución de aire.

• **PROBLEMA:**

Flamas inclinadas

• **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

Las flamas se apoyan a un lado del calentador.

• **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

Puntos calientes en los tubos

• **SOLUCIÓN:**

- 1 - Revisar el flujo de los gases en el calentador.
- 2 - Instalar una mampara para deshacer los efectos del flujo de gases
- 3 - Limpiar las boquillas de gas
- 4 - Revisar la alineación de las boquillas de gas o aceite
- 5 - Revisar la distribución de aire

• **PROBLEMA:**

El quemador no puede encenderse



RECOMENDACIONES

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

El operador no puede encender el quemador.

- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

Falla al intentar arrancar la unidad.

- **SOLUCIÓN:**

- 1 - Reponer los pilotos para poder ignitar el quemador
- 2 - Asegurarse que exista flujo de gas o aceite al quemador.
- 3 - Cerrar los registros de aire.
- 4 - Ajustar la boquilla de gas (o aceite) a su posición correcta.

- **PROBLEMA:**

Altas presión de gas

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

La presión de gas registrada en la línea de alimentación es tan grande que inevitablemente se libera calor.

- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

- 1 - Patrones de flama irregular.
- 2.- Puntos calientes.
- 3.- Falla al tratar de conseguir la correcta temperatura de salida del producto.

- **SOLUCIÓN:**

- 1.- Limpiar los orificios de gas en el quemador
- 2.- Limpiar las boquillas de gas.
- 3 - Ajustar el tiro a nivel del quemador para una adecuada liberación de calor

- **PROBLEMA:**



Temperatura de la chimenea muy elevada

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

La temperatura de la chimenea continua incrementándose por arriba de la temperatura de diseño.

- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

- 1 - Disminuye la eficiencia del calentador
- 2 - Elevados consumos de gas y costos de operación.

- **SOLUCIÓN:**

- 1 - Ajustar el exceso de oxígeno.
- 2 - Ajustar el tiro del calentador
- 3.- Limpiar la zona de convección.
- 4 - Soplar el hollín de los tubos.

- **PROBLEMA:**

Sobrecalentamiento de la zona de convección

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

- 1 - El refractario cae del techo.
- 2 - El acero estructural se deforma y abre
- 3 - Los tubos de la zona de convección se empiezan a caer.

- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

La unidad se apaga debido al sobrecalentamiento

- **SOLUCIÓN:**

- 1 - Abrir el damper de la chimenea para incrementar ligeramente el tiro de una presión positiva a una presión negativa de 0.05" c.a.
- 2.- Si el damper esta abierto, disminuya la liberación de calor hasta eliminar la presión positiva en la zona de convección.

- **PROBLEMA:**

Ruido como el motor de un barco, cuando se esta quemando aceite



- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

El operador escucha en el quemador un ruido como de un motor de barco

- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

- 1 - Flama inestable.
- 2 - Perdida de la flama.

- **SOLUCIÓN:**

- 1 - Revisar que no existan fugas de vapor en la válvula del bypass o que la válvula se encuentre abierta.
- 2 - Revisar si el aceite contiene agua
- 3 - Incrementar la presión del aceite combustible.
- 4 - Si es posible, incrementar el punto de ebullición inicial (ibp) del aceite si no, cambiar el cañón de aceite concéntrico a uno de tubos duales

- **PROBLEMA:**

La flama se desprende del quemador.

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

La flama se esta quemando más allá de la boquilla del quemador

- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

Operación potencialmente riesgoza

- **SOLUCIÓN:**

- 1.- Corregir la alineación de la boquilla de gas o aceite.
- 2 - Revisar el estabilizador de flama
- 3 - Ajustar la puerta de aire primario

- **PROBLEMA:**

Perdida de la flama del piloto.

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

El piloto no puede ser encendido o no se podrá mantener encendido.



- EFECTO EN LA OPERACIÓN:

Operación potencialmente riesgosa

- SOLUCIÓN:

- 1 - Ajustar el tiro del calentador
- 2 - Ajustar la puerta de aire primario en el mezclador del piloto
- 3 - Revisar la presión de gas a piloto y ajustarla de ser necesario
- 4 - Revisar la estabilidad de la flama
- 5 - Consultar con el fabricante del quemador por una posible resistencia del piloto al viento

- PROBLEMA:

Flamas pulsantes y "retroceso de flama" en el quemador

- INDICACIÓN DEL PROBLEMA:

- 1 - Presencia de combustión en los puertos de quemado del quemador y en la cámara de mezcla de aire y combustible
- 2 - El mezclador está caliente y algunas veces se observa que está al rojo resplandeciente.

- EFECTO EN LA OPERACIÓN:

Condiciones de flamas inestables e irregular patrón de calentamiento en el calentador algunas partes del quemador están expuestas a altas temperaturas para las cuales no está diseñada

- SOLUCIÓN:

- 1 - Quizás exista una baja de presión de combustible en los quemadores dependiendo de las recomendaciones del fabricante de los quemadores *quizás se tengan que reducir el tamaño de la esprea si las condiciones de operación lo permiten*, se pondrían apagar algunos quemadores e incrementar la liberación de calor en los restantes.
- 2 - El tiro a nivel de los quemadores quizás sea demasiado bajo; revisar el damper de la chimenea e incrementar el tiro abriendo el damper lo más posible

- PROBLEMA:



RECOMENDACIONES

Altos niveles de NOx.

- **INDICACIÓN DEL PROBLEMA:**

Altos niveles de nox. son medidos en la chimenea

- **EFFECTO EN LA OPERACIÓN:**

La unidad esta violando los límites permitidos por las normas ecológicas existentes

- **SOLUCIÓN:**

- 1 - Revisar la posición de los registros de aire secundario y terciario.
- 2 - Revisar los niveles de oxígeno y de NOx.
- 3 - Checar que el registro de aire terciario se encuentra abierto
- 4 - Revisar que exista flujo de gas a las boquillas primarias de gas y alas boquillas de gas por etapas.
- 5 - Consultar con el fabricante del quemador.



EL TIRO Y SU CONTROL

♦ Definición e importancia

Se define como tiro, a la energía de presión requerida para hacer circular al aire y los gases de combustión a través de un equipo

Se le llama tiro efectivo a la energía neta de presión que se tiene en un punto determinado ya habiendo considerado las pérdidas.

El control de tiro es muy importante, porque facilita la regulación del exceso de aire e incrementa la seguridad del personal y el uso eficiente de la energía

♦ Tiro natural

El tiro natural producido por una chimenea es igual a la diferencia en peso de una columna de aire frío del exterior y una columna de gases calientes en la chimenea. Si a este valor de tiro, restamos las pérdidas debidas a fricciones internas y las pérdidas debidas a la aceleración de los gases, es posible conocer la presión interna en diferentes puntos del calentador.

Las variaciones meteorológicas, las condiciones de funcionamiento de la cámara de combustión y la altura de la chimenea tienen una marcada influencia sobre el valor del tiro creado por una chimenea determinada



PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA REDUCIR EL EXCESO DE AIRE Y CONTROLAR EL TIRO NATURAL DEL CALENTADOR

Cuando los calentadores queman gas deben manejar como máximo 20% de exceso de aire y con combustóleo 30%, debe controlarse el tiro en el puente del calentador entre -1.27 a -2.54 mm H₂O (-0.05 a -0.1 pulgadas de agua) valor de diseño con objeto de mantener ligeramente el hogar del calentador a presión negativa y no causar excesivo alargamiento de las flamas (tiro en los quemadores debe de ser de -5.10 mm H₂O ó -0.20 pulgadas de agua, valor de diseño) y entradas de aire parásito a través de ranuras, especialmente en la sección de convección. Para lo anterior es necesario contar con la instrumentación para medir el tiro (con conexiones localizadas en el piso del calentador, en el puente del calentador y en la salida de la zona de convección), así como contar con una total funcionalidad del regulador de tiro (Damper) y también debe haberse trazado el perfil de tiro del calentador en cuestión (presión en cada uno de los puntos señalados).

Considerando que el calentador esté en operación se deben seguir los pasos generales siguientes:

- 1 Comprobar en los indicadores de tiro, que éste es excesivo en todo el calentador (anotar el perfil de tiro existente).
- 2 Comprobar que el regulador de tiro (DAMPER) localizado en la chimenea está muy abierto (más abierto del 75%).
- 3 Comprobar que el exceso de aire existente para la operación del calentador es mayor que el recomendado de acuerdo al tipo de combustible, conectando el analizador de gases en la toma de muestra de la salida de zona de radiación y luego en la salida de zona de convección (verificar infiltraciones).
- 4 Abrir totalmente los registros de aire primario y secundarios de los quemadores **(O HASTA EL PUNTO EN QUE SEA POSIBLE ABRIRLOS, EVITANDO QUE LA FLAMA SE DESPRENDA DE LA BOQUILLA DEL QUEMADOR)**.
- 5 Verificar el exceso de aire (si se abrieron los registros debe aumentar el valor de exceso).
- 6 Medir la variación provocada en el perfil de tiro inicial.



- 7 Cerrar ligeramente la mampara reguladora de tiro de la chimenea y comprobar que hubo variación en el perfil de tiro del calentador (al cerrar un poco el regulador se debe observar que el vacío en todo el calentador disminuye)
- 8 Medir el exceso de aire del calentador y dado que se ha cerrado ligeramente el regulador de tiro, éste debe haber disminuido

NOTA: En caso de no registrar disminución en el exceso de aire, verificar que se esté efectuando correctamente el análisis de gases de combustión, también es posible que el regulador de tiro prácticamente no se haya cerrado (punto 7) por lo que se recomienda se tome experiencia para que los intervalos en los que se vaya cerrando sean adecuados; ya que el objetivo será obtener el puente del calentador - 1.27 a - 2.54 mm H₂O (- 0.05 a - 0.1 pulgadas de agua) de tiro y aproximadamente obtener el perfil calculado a través del equipo.

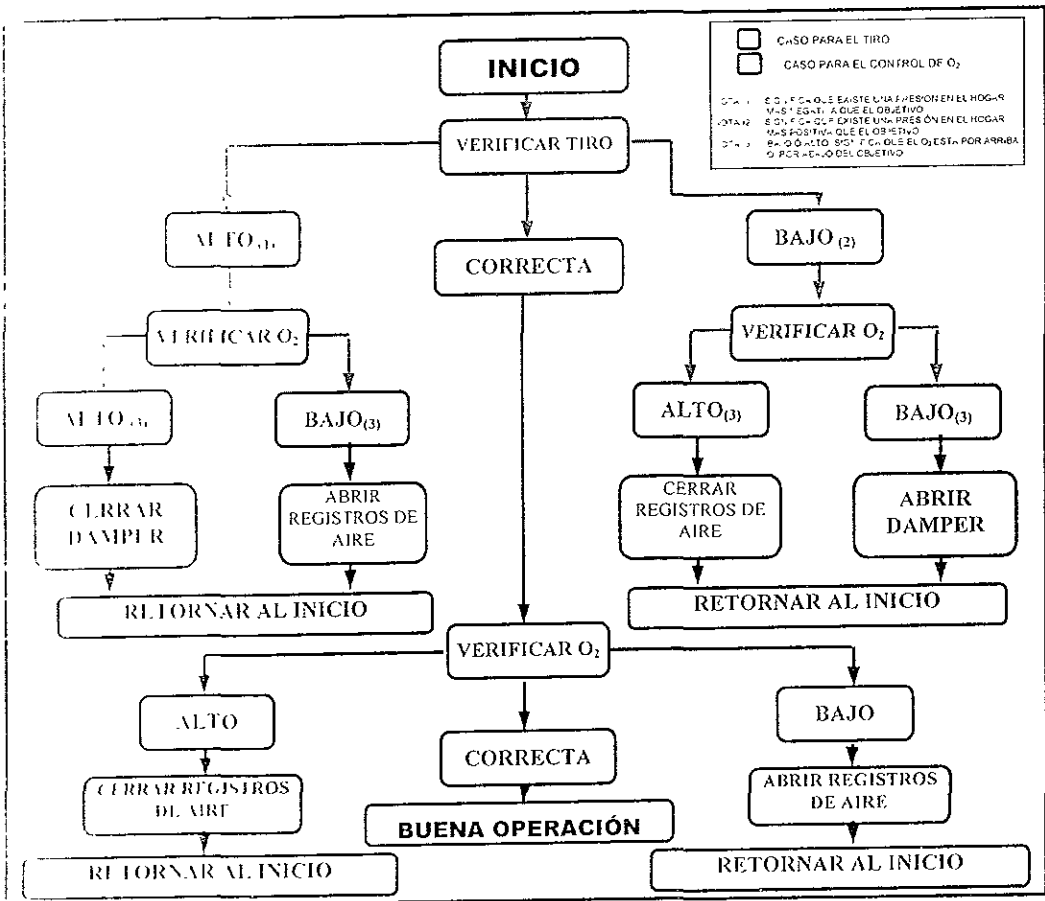
- 9 En caso de haber disminuido sensiblemente el exceso de aire de acuerdo al punto 8 repetir desde el paso 6 hasta el 8, para alcanzar los valores de tiro buscados, así como el exceso de aire recomendado, asimismo verificar el efecto de éste en las condiciones del fluido de proceso, ya que en caso de efectuar correctamente el ajuste del horno, lo más probable es que la temperatura de salida del fluido se incremente y por lo tanto se debe disminuir el gasto de combustible para ajustar esta última; además, debe disminuir la altura de las flamas como consecuencia de la disminución del efecto del tiro
- 10 Cuando se efectúe el ajuste del calentador, lo primero que se logrará ajustar es el perfil de tiro del equipo y en este instante el exceso de aire deberá ser ligeramente mayor que el valor recomendado, siendo entonces necesario que el ajuste de éste no se efectúe por medio del regulador de tiro, sino que, el exceso de aire deberá ajustarse por medio de los registros de aire primario y secundario de los quemadores los cuales harán el ajuste fino del aire y en caso que sea necesario se moverá el regulador de tiro para conservar el perfil de tiro del calentador.
- 11 Una vez ajustado el tiro del calentador y del exceso de aire, verificar al menos dos veces al día el exceso de aire y el tiro para mantener las condiciones óptimas de operación del calentador. Cuando haya variaciones de carga al calentador repetir este procedimiento para continuar manteniendo el calentador bajo estas condiciones.



♦ **Diagrama de bloques general para ajustes de tiro y exceso de aire en un horno de tiro natural.**

El anterior procedimiento describe las etapas mínimas para realizar el ajuste de tiro y exceso de aire. Sin embargo pueden presentarse problemas al tratar de llegar a un *ajuste combinado de ambas variables* por lo que a continuación se presenta un diagrama esquemático a bloques de forma general para las acciones a tomar cuando se presenten estos problemas de ajuste.

DIAGRAMA DE BLOQUES





ANEXO I



HOJAS API DEL CALENTADOR

HOJA DE DATOS DE CALENTADORES		FECHA	
1. NOMBRE DEL CALENTADOR (MMBTU/h)	REVISADO	APROBADO	
2. NOMBRE DEL CLIENTE	ITEM	Nº REQ	
3. NOMBRE DEL PROYECTO		UNIDAD	
4. NOMBRE DEL OPERADOR		FABRICANTE	
5. NOMBRE DEL DISEÑADOR		TIPO	
CONDICIONES DE DISEÑO DEL PROCESO			
6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO			
7. DESCRIPCIÓN DEL CALENTADOR			
8. CAPACIDAD DE CALOR (MMBTU/h)			
9. VOLUMEN DE FLUIDO (m ³)			
10. VISCOSIDAD DEL FLUIDO (cP)			
11. PRESIÓN (PERMITIDA) (PSI)			
12. CALOR ESPECÍFICO (CALCULADA) (PSI)			
13. INTENSIDAD DE LA DENSIDAD DEL FLUJO RADIANTE (PERMITIDA) (BTU/h ²)			
14. INTENSIDAD DE LA DENSIDAD DEL FLUJO RADIANTE (CALCULADA) (BTU/h ²)			
15. INTENSIDAD DE LA DENSIDAD DEL FLUJO RADIANTE (BTU/h ²)			
16. INTENSIDAD DE LA DENSIDAD DEL FLUJO DE CONVECCIÓN (PERMITIDA) (BTU/h ²)			
17. INTENSIDAD DE LA DENSIDAD DEL FLUJO DE CONVECCIÓN (CALCULADA) (BTU/h ²)			
18. INTENSIDAD DEL FLUJO DE CONVECCIÓN (BTU/h ²)			
19. EFECTIVIDAD DE			
20. TEMPERATURA DE LA PELÍCULA INTERIOR DISPONIBLE (°F)			
21. TEMPERATURA (°F)			
22. EFECTOS DE CORROSIÓN O EROSIÓN			
CONDICIONES DE ENTRADA			
23. TEMPERATURA (°F)			
24. PRESIÓN (PSI)			
25. VISCOSIDAD (cP)			
26. CALOR ESPECÍFICO (BTU/h ² °F)			
27. CALOR ESPECÍFICO (BTU/h ² °F)			
28. VISCOSIDAD MOLECULAR			
29. VISCOSIDAD (cP)			
30. CALOR ESPECÍFICO (BTU/h ² °F)			
31. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (BTU/h ² °F)			
32. VISCOSIDAD MOLECULAR			
33. VISCOSIDAD (cP)			
34. CALOR ESPECÍFICO (BTU/h ² °F)			
35. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (BTU/h ² °F)			
CONDICIONES DE SALIDA			
36. TEMPERATURA (°F)			
37. PRESIÓN (PSI)			
38. VISCOSIDAD (cP)			
39. CALOR ESPECÍFICO (BTU/h ² °F)			
40. CALOR ESPECÍFICO (BTU/h ² °F)			
41. VISCOSIDAD MOLECULAR			
42. VISCOSIDAD (cP)			
43. CALOR ESPECÍFICO (BTU/h ² °F)			
44. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (BTU/h ² °F)			
REGLER VIENTOS ESPECIALES Y OBSERVACIONES			
DATOS DE DESTILACIÓN O VINCULOS DE COMPOSICIÓN			

SE DEBE USAR LA FORMA CONCEPTUAL PARA EFICIENTAR UN CALENTADOR
 Y EL DISEÑO DE RECTO ESTABLECIENDO UNA METODOLOGÍA

PAGINA No 104
 REVISIÓN



NOMBRE DE LOS CALENTADORES		FECHA	
REVISOR	APROBADO		
SECCION DEL CALENTADOR	SECCION RADIANTE	SECCION DE CONVECCION	
TIPO DE CALENTADOR			
TEMPERATURA DE CALIENTE			
TEMPERATURA DE CALIENTE (°F)	DISEÑO		CALCULADO
MATERIAL			
TEMPERATURA EXTERIOR (°F)			
METODO DE AMARRE			
METODO DE AMARRE RAPIDO A ESTRUCTURA			
SECCION DEL CALENTADOR	SECCION RADIANTE	SECCION DE CONVECCION	
TIPO DE CALENTADOR			
TEMPERATURA DE CALIENTE			
TEMPERATURA DE CALIENTE (°F)	DISEÑO		CALCULADO
MATERIAL			
TEMPERATURA EXTERIOR (°F)			
METODO DE AMARRE			
METODO DE AMARRE RAPIDO A ESTRUCTURA			
SECCION DEL CALENTADOR	SECCION RADIANTE	SECCION DE CONVECCION	
TIPO DE CALENTADOR			
TEMPERATURA DE CALIENTE			
TEMPERATURA DE CALIENTE (°F)	DISEÑO		CALCULADO
MATERIAL			
TEMPERATURA EXTERIOR (°F)			
METODO DE AMARRE			
METODO DE AMARRE RAPIDO A ESTRUCTURA			

SECCION CONCEPTUAL PARA EFICIENTAR UN CALENTADOR
 A FLEGO DIRECTO ESTABLECIENDO UNA METODOLOGIA

PAGINA No 107
 REVISION



ANEXO II



INFORMACIÓN GENERAL DEL CALENTADOR

NOMBRE DE LA PLANTA _____
 IDENTIFICACION DEL CALENTADOR _____
 CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO _____
 DE DISEÑO _____
 ACRÓNIMO _____

SERVICIO DEL CALENTADOR: _____
 CALENTADOR _____ VAPORIZADOR _____ REACTOR _____
 OTRO _____

CARGA TÉRMICA DE DISEÑO _____ MMBTU/HR

TIPO DE CALENTADOR CILINDRICO VERTICAL ()
 CABINA ()
 NÚMERO DE CELDAS ()

TIPO DE QUEMADOR _____

NÚMERO DE QUEMADORES _____

CONTROLIZACION _____

SERVICIOS DE LA SECCIÓN DE CONVECCIÓN:

- CALENTAMIENTO DE AGUA ()
- GENERACION DE VAPOR DE AGUA ()
- SOBREC ALENTADOR DE VAPOR AGUA ()
- REHLEVADOR (SOLO VAPORIZACIÓN) ()
- SOBREC ALENTAMIENTO ()
- OTRO _____

COMBUSTIBLE(S) EMPLEADO(S)

GAS ()
 LIQUIDO ()
 LIQ. Y GAS ()

(1) INFORMACION REQUERIDA PREVIA A LA VISITA A CAMPO



Formato No 2
INFORMACIÓN TÉCNICA DE DISEÑO

PLANTA	
IDENTIFICACIÓN	
SERVICIO	

I INFORMACIÓN DE PROCESO:

- 1 Arreglo general del calentador.
- 2 Diagrama de flujo de proceso (incluya el calentador).
- 3 Diagrama de tubería e instrumentación.
- 4 Plano estructural.
- 5 Hoja de datos del calentador (hojas API), o información específica siguiente:
 - 5.1 Absorción de calor (Duty), _____ MMBTU/hr.
 - 5.2 Calor liberado por el combustible (calculado),(LHV) ⁽¹⁾
_____ MMBTU/hr
 - 5.3 Densidad de flujo radiante máxima permitida _____ BTU/hrFT²
 - 5.4 Densidad de flujo convección máxima _____ BTU/hrFT²
 - 5.5 Tipo de combustible a usar _____
 - 5.6 Porcentaje de exceso de aire especificado por diseño _____
 - 5.7 Porcentaje de eficiencia garantizada (LHV) _____
 - 5.8 Perdidas por radiación (% del calor liberado)
(LHV) _____
 - 5.9 Temp. de gases de combustión (salida sec. de radiación) _____
 - 5.10 Temp. de gases de combustión (salida sec. de convección) _____
 - 5.11 Temp. de gases de combustión (salida del calentador) _____
 - 5.12 Presión en el piso del calentador (quemadores) _____
 - 5.13 Presión en el puente _____
 - 5.14 Presión combustible requerida en quemadores _____ Psig.

II. INFORMACIÓN DE QUEMADORES.

1. Curva de liberación de calor.
Gráfica de flujo de calor vs. Presión.

NOTA (1) Información requerida en lugar de la eficiencia



Formato No 3^ªA
HOJA DE DATOS PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA
DE C.F.D. IN-SITU ⁽¹⁾

PLANTA:	
IDENTIFICACION:	
SERVICIO:	

ESTADO DE PROCESO	IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO	1ER.	2DA.	3ERA
HORA:				
TIPO DE FLUIDO ⁽²⁾				
TEMP. ENTRADA ()	TI -			
TEMP. SALIDA ()	TI -			
TEMP. SALIDA CONVECCION ()	TI -			
TEMP. SALIDA EN SERPENTIN No. 1 ()	TI -			
SERPENTIN No. 2 ()	TI -			
SERPENTIN No. 3 ()	TI -			
SERPENTIN No. 4 ()	TI -			
SERPENTIN No. ()	TI -			

NOTA (1) LA RECOPIACIÓN DE ESTA INFORMACIÓN DEBE REALIZARSE DURANTE UN PERIODO DE OPERACIÓN DEL CALENTADOR, TOMANDO DIFERENTES LECTURAS DE LAS SIGUIENTES VARIABLES A DIFERENTES LAPROS DE TIEMPO.



Formato No 3"A"
(CONTINUACIÓN)

LADO DE GASES DE COMBUSTIÓN:	IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO	1ER.	2DA.	3ERA
HORA				
TEMP PISO (QUEMADORES) ()	TI -			
TEMP EN PUENTE SALIDA ZONA RADIACION ()	TI -			
TEMP SALIDA ZONA CONVECCION ANTES MAMPARA ()	TI -			
PRESION EN PISO (QUEMADORES) ()	PI -			
PRESION EN PUENTE SALIDA ZONA RADIACION ()	PI -			
PRESION SALIDA ZONA DE CONVECCION ANTES MAMPARA ()	PI -			
PRESION DESPUES MAMPARA ()	PI -			
CONC. OXIGENO EN PUENTE SALIDA ZONA DE RADIACION (%) ()	AI -			

ZONA DE CONVECCION (SERVICIO INDEPENDIENTE):	IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO	1ER.	2DA.	3ERA
HORA				
(TIPO DE FLUIDO) ¹²⁾				
FLUIDO ()	FIC -			
TEMP ENTRADA ()	TI -			
TEMP SALIDA ()	TIC -			
PRESION ENT ()	PI -			
PRESION SAL ()	PI -			
TEMPERATURA SOBRECALIENT ()	TI -			

¹²⁾ NOTA: LAS CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL FLUIDO DE PROCESO SE DEBERAN DE RECOPIRAR EN EL FORMATO No.3"B".



Formato No 3"A"
(CONTINUACIÓN)

COMBUSTIBLE:	IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO	1ER.	2DA.	3ERA
HORA				
TIPO ()	HC-			
TEMP. ENTRADA ()	TI-			
PRESIÓN ENTRADA ()	PI-			
QUEMADOR ()				

**V. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS:**

- V.A. TEMPERATURA AMBIENTE DEL AIRE () _____
V.B. ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR () _____
V.C. VELOCIDAD DE VIENTOS REINANTES () _____
V.D. HUMEDAD RELATIVA () _____

VI. INFORMACIÓN DE SERVICIOS:

- VI.A. COSTO DE COMBUSTIBLE () _____
VI.B. COSTO DEL VAPOR DE AGUA A LA PRESIÓN DE GENERACIÓN EN LA
SECCIÓN DE CONVECCIÓN (PSIG)⁽²⁾ _____
(VAPOR GENERADO EN LA ZONA DE CONVECCIÓN COMPARADO CONTRA EL
DE LA PLANTA)



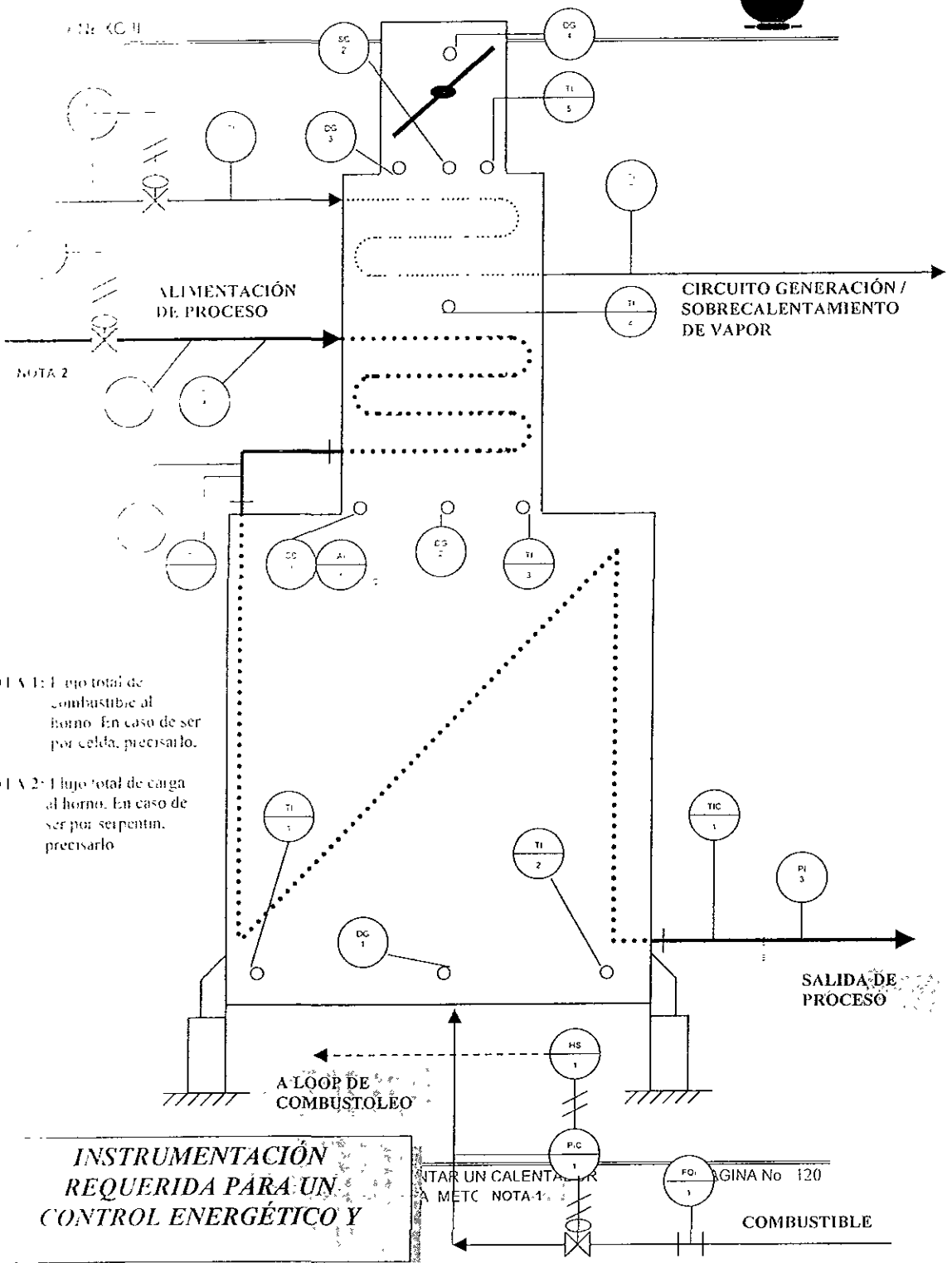
FORMATO No. 3C

VERIFICACIÓN DE EXISTENCIA, OPERATIVIDAD Y SUFICIENCIA DE LA INSTRUMENTACIÓN EN C. F. D.

PLANTA	
IDENTIFICACION	
SERVICIO	

INSTRUMENTO	EXISTENCIA	OBSERVACIONES
Indicadores de temperatura de entrada y salida del fluido de proceso	SI NO	
Indicador de temperatura del fluido de proceso a la salida de zona convección entrana a radiacion	SI NO	
Indicadores de presión de entrada y salida del fluido de proceso	SI NO	
Indicadores de temperatura de gases de combustión a diferentes puntos del calentador	SI NO	
Indicador de tiro en diferentes puntos del calentador	SI NO	
Análizador continuo de O ₂ en gases de combustión	SI NO	
Medidor del flujo de combustible	SI NO	
Medidor de flujo de carga de alimentación	SI NO	
Medidor de flujo del agua (BFW) a la zona de convección	SI NO	
Indicadores de temperatura del agua de entrada y salida de la zona de convección	SI NO	
Indicadores de presión del agua a la entrada y salida de la zona de convección	SI NO	

NOTA: INDICAR EN OBSERVACIONES SI EL INSTRUMENTO ESTA OPERANDO ADECUADAMENTE SI DEBE REALIZARSE AJUSTES, REQUIERE DE CALIBRACIÓN, DAR MANTENIMIENTO PARA HABILITARLO O SUSTITUIRLO



NOTA 2

NOTA 1: Flujo total de combustible al horno. En caso de ser por celda, precisarlo.

NOTA 2: Flujo total de carga al horno. En caso de ser por serpentín, precisarlo.

INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA PARA UN CONTROL ENERGÉTICO Y

...NTAR UN CALENTA...
...A METC NOTA-1...

COMBUSTIBLE



Claves del diagrama del calentador a fuego directo

TI:	Indicador de temperatura
TIC:	Indicador controlador de temperatura
PI:	Indicador de presión
PIC:	Indicador controlador de presión
FIC:	Indicador controlador de flujo
FQI:	Totalizador indicador de flujo
DG:	Manómetro de tiro
SC:	Toma de muestra
AI:	Analizador de oxígeno
HS:	Selector manual



Claves de los instrumentos del diagrama del calentador a fuego directo

- TI – 1 Indicador de temperatura a tablero de la caja de radiación de los gases de combustión
- TI – 2 Indicador de temperatura a tablero de la caja de radiación de los gases de combustión
- TI – 3 Indicador de temperatura a tablero de la caja de radiación de los gases de combustión. (puente)
- TI – 4 Indicador de temperatura a tablero de la caja de radiación de los gases de combustión a la salida del primer banco de convección.
- TI – 5 Indicador de temperatura a tablero de la caja de radiación de los gases de combustión a la salida del segundo banco de convección.
- TI – 6 Indicador de temperatura de entrada de alimentación del economizador (en caso de existir)
- TI – 7 . Indicador de temperatura de salida del economizador (en caso de existir)
- TI – 8 Indicador de temperatura de alimentación de carga al calentador
- TI – 9 Indicador de temperatura lado proceso paso de convección a radiación
- TIC – 1 Indicador controlador de temperatura de salida lado proceso.
- DG – 1 Manómetro de tiro base caja de radiación
- DG – 2 Manómetro de tiro salida de radiación (puente).
- DG – 3 Manómetro de tiro salida de convección
- DG – 4 Manómetro de tiro salida a la atmósfera después de la mampara
- SC – 1 Toma de muestra en la salida de radiación (puente).
- SC – 2 Toma de muestra de la salida de convección.
- AI , – 1 Analizador de oxígeno en gases de combustión en el puente



- FIC – 1 Indicador controlador de flujo agua – vapor al economizador (Si existe)
- FIC – 2 Indicador controlador de flujo de alimentación de corriente de proceso al calentador
- FQI – 1 Totalizador indicador de flujo de combustible.
- PIC - 1 Indicador controlador de presión de combustible a quemadores.
- PI – 1 Indicador de presión de alimentación de corriente de proceso al calentador
- PI – 2 Indicador de presión lado proceso paso de convección a radiación
- PI – 3 Indicador de presión salida de la corriente de proceso del calentador
- HS – 1 Selector manual del tipo de combustible empleado gas o líquido





ANEXO III

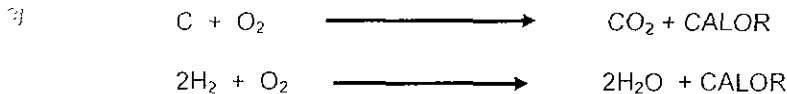


1 Fundamentos de combustión

Combustión Es una reacción química entre un combustible y oxígeno que produce luz y calor

La *producción de calor*, es por supuesto, el punto de interés. Esta reacción en la industria es empleada en calentadores a fuego directo para el calentamiento de fluidos por medio de los productos de combustión.

La mayoría de los combustibles contienen carbono, hidrógeno y en algunas ocasiones azufre. Cada uno de estos componentes, cuando se combinan con el oxígeno producen respectivamente dióxido de carbono, vapor de agua y óxidos de azufre más calor



Aproximadamente 21% en volumen del aire es oxígeno, esta es la fuente más común de oxígeno en la reacción de combustión. Sin embargo, en algunos casos se emplean otras fuentes de oxígeno. Un ejemplo es el gas de descarga de las turbinas de gas, dicho gas contiene normalmente de 14 a 16% de oxígeno en volumen adecuado para sostener la reacción de combustión

Para que la reacción pueda llevarse a cabo debe alcanzarse la mezcla adecuada de combustible aire y se debe mantener la temperatura mínima de ignición.

Una de las funciones del quemador es mantener la adecuada proporción de combustible y oxígeno de la mezcla. Se requiere una cierta cantidad de oxígeno para cada porción de carbono o hidrógeno del combustible. Si la proporción de combustible - aire requerida varía drásticamente la reacción puede no llevarse a cabo o efectuarse de manera incompleta.

La ignición de la mezcla se logra usualmente adicionando una fuente externa de calor (*chispa, flama*) hasta que la reacción genere suficiente calor para mantenerse encendida sin necesidad de la fuente externa de calor.

Para el adecuado diseño de un quemador es fundamental considerar tres aspectos importantes: turbulencia, temperatura y tiempo, que definen la velocidad de la reacción. Para que la combustión se lleve a cabo adecuadamente, debe



existir suficiente turbulencia para lograr la adecuada mezcla; existen dos fuentes de turbulencia, la caída de presión del aire a través del quemador y la energía del combustible. La temperatura a la cual se lleva a cabo la reacción de combustión es importante mientras más alta sea la temperatura en la zona de combustión la reacción se lleva a cabo con mayor rapidez. El tiempo que se requiere para que se lleve a cabo la combustión es dependiente de la temperatura y la turbulencia. En general, a mayor turbulencia menor es el tiempo que se requiere para que se efectúe la reacción. De igual manera, a mayor temperatura menor el tiempo de reacción.

En general los productos de combustión son dióxido de carbono, vapor de agua, oxígeno, nitrógeno y pequeñas cantidades de componentes tales como el monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre.

- a. El nitrógeno está presente debido a que la fuente normal de oxígeno es el aire.
- b. El oxígeno está presente porque típicamente, las unidades se operan con exceso de aire, es decir se introduce en la reacción una cantidad de oxígeno (aire) mayor al requerido por la reacción, esto se hace por múltiples razones entre ellas, las leyes de la química establecen que si se pretende que una reacción se lleve a cabo en un tiempo razonable, debe existir un exceso de uno de los componentes en la reacción. Debido a que normalmente un exceso de combustible no es tolerable se alimenta un exceso de aire. Otra razón es que el combustible varía continuamente de composición, al tener un exceso de aire se asegura que se tendrá suficiente oxígeno en la reacción, por otro lado los quemadores no son mezcladores perfectos y requieren por esto exceso de aire.
- c. La presencia de óxidos de azufre se debe a la presencia de azufre en los combustibles. El azufre se oxida a dióxidos y trióxidos de azufre, aproximadamente el 95% del azufre se convierte en dióxidos, el 5% restante se convierte en trióxidos. Los trióxidos de azufre son productos indeseables ya que si están presentes en los gases de combustión aún en pequeñas cantidades, aumentan de forma drástica la temperatura de rocío de los gases. Esto significa que la condensación se produce a una temperatura más elevada provocando problemas severos de corrosión y de lluvia ácida.
- d. Se producen óxidos de nitrógeno durante la reacción de combustión. Estos se producen por la oxidación del nitrógeno en el aire y de los componentes nitrogenados de los combustibles. Se sospecha que los óxidos de nitrógeno destruyen la capa de ozono de la alta atmósfera que nos protege del rayo del sol y es precursor del ozono a nivel de piso, por lo que es un producto indeseable de la combustión. La presencia de este componente está influenciada por el diseño y la operación del equipo.



Componentes tales como hidrocarburos no quemados y monóxido de carbono están presentes en los gases de combustión debido a una reacción incompleta. La presencia de estos componentes están influenciados por el diseño y la operación del equipo

La operación adecuada de un calentador depende en forma importante del diseño y operación adecuada del quemador. A continuación se discutirán los factores que influencia el diseño de los quemadores

2 Factores que influncian el diseño de los quemadores

2.1 Configuración del horno y localización de los tubos

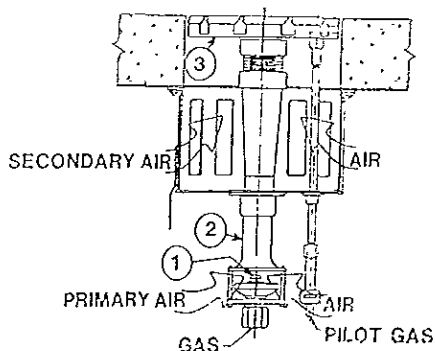
La localización de los quemadores en piso, pared o techo del horno está definida por los requerimientos del proceso, la determinación de donde se requiere concentrado el calor y donde debe ser evitado.

2.2 Combustibles disponibles

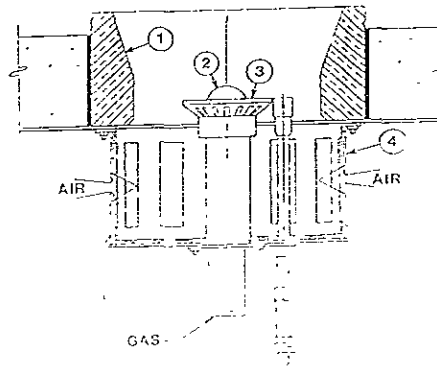
2.2.1 Solo gas

Cuando se requiere quemar solo gas existen dos tipos de quemadores

Premezcla: En este tipo de quemadores parte del aire de combustión es mezclado con el combustible antes de llegar a la boquilla del quemador.



Mezcla en la boquilla: En este tipo de quemadores todo el combustible pasa a través del quemador sin ser combinado con el aire hasta llegar a la boquilla.

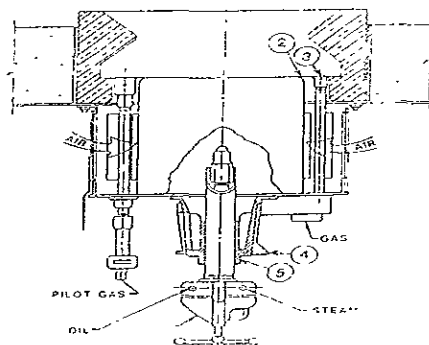


2 2 2 Solo combustible líquido

Para poder quemar un combustible líquido se requiere fraccionar, "atomizar", en pequeñas gotas que permiten quemar con efectividad. Esto se hace normalmente alimentando vapor a alta presión. Sin embargo, existen otros métodos tales como alimentación de aire de alta presión o atomización mecánica, esta última se ve limitada si el combustible contiene sólidos ya que los orificios de estas boquillas son normalmente muy pequeñas.

2 2 3 Gas y combustible líquido

Cuando se tienen este requerimiento se incluyen en el diseño un quemador de mezcla en la boquilla y un quemador líquido.





ANEXO 1. QUEMADORES

2.3 Liberación de calor

Este queda definido por el diseñador de acuerdo a la carga térmica requerida por el horno y la eficiencia del mismo.

2.4 Características de la corriente de proceso

Las corrientes de proceso que contienen componentes inestables que se descomponen con el calor requerirán de condiciones de diseño especial.

2.5 Condiciones de tiro

La caída de presión del aire a través del quemador debe coordinarse con el tiro disponible a través del horno. Si el quemador no se selecciona para el tiro real del horno este no operará adecuadamente. Como mencionamos con anterioridad una de las fuentes de energía de mezcla es la caída de presión del aire a través del quemador pero dicha caída debe darse en la garganta del mismo. Si el quemador se selecciona muy grande se requiere cerrar la compuerta de aire provocando que la caída de presión sea en la compuerta, en este caso la energía de mezcla se ve disminuida y la operación del quemador es pobre.

2.6 Altitud

A grandes altitudes se deben hacer consideraciones especiales debido al cambio de densidad del aire. Normalmente para altitudes menores a 100 pies no se requiere hacer correcciones.

2.7 Temperatura del aire

La temperatura del aire así como la altitud afectan la densidad del aire, esto debe ser tomado en cuenta para la adecuada selección del quemador.

2.8 Turndown

Entiendase por turndown la relación de liberación de calor máxima a mínima. Este deberá ser definida para que el barrenado de las boquillas cubra las necesidades de proceso.

2.9 Emisiones

En la actualidad existe una norma ecológica que limita las emisiones de fuentes fijas NOM-085-ECOL-1994. Las emisiones a cumplir definirán el tipo de quemadores que deberán ser seleccionados.

QUEMADORES DE BAJAS EMISIONES DE NO_x

Antecedentes



Las emisiones de NOx se regulan debido a los efectos adversos que tienen sobre la salud y el medio ambiente. Como se mencionó con anterioridad, los NOx juegan un papel muy importante en la formación de la lluvia ácida, en la formación de ozono en las capas bajas de la atmósfera y se sospecha que algunos tipos de óxidos de nitrógeno toman parte en el deterioro de la capa de ozono en la alta atmósfera

Se han identificado dos mecanismos a través de los cuales se generan dichos óxidos

NOx Térmico

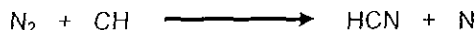
Este mecanismo de producción es una fuente principal de NOx provenientes de la combustión. La producción de NOx por este mecanismo puede ir desde unas cuantas partes por millón hasta varios miles dependiendo de las condiciones. El esquema de reacción es el siguiente.



Este mecanismo de producción de NOx se inicia con átomos de O y éstos prevalecen en las zonas de alta temperatura de la flama por lo que el NOx térmico se produce con mayor rapidez en las zonas de flama con temperatura pico. Debido a la producción de los NOx térmicos, se incrementan exponencialmente con la temperatura de la flama y el método para controlarlos es principalmente controlando la temperatura pico de la flama

PROMPT NOx

El "PROMPT" NOx es una forma indirecta de oxidar N₂ y las emisiones generadas por este mecanismo son mucho menores que las generadas por el mecanismo térmico. Sin embargo a medida que se han ido disminuyendo las emisiones de NOx térmico la contribución de este se vuelve más importante. El PROMPT NOx se produce principalmente en las zonas de la flama ricas en combustible. Se forma por medio de una secuencia de reacciones que se inician con radicales hidrocarburos y N₂. Estos radicales se forman durante la combustión de cualquier hidrocarburo. Las reacciones típicas son





El HCN y CN formados en estas reacciones se pueden convertir a NCO, NH, y después a N. Finalmente el N puede reaccionar para formar NO

NO_x producido por el combustible.

Algunos combustibles tales como los aceites contienen moléculas con enlace orgánico con el nitrógeno. El combustóleo contiene en México de 0.2 a 0.43% de nitrógeno en liga orgánica; incluso algunos gases de refinería contienen algunos compuestos tales como NH₃, HCN y arrastre de aminas generadoras de NO_x

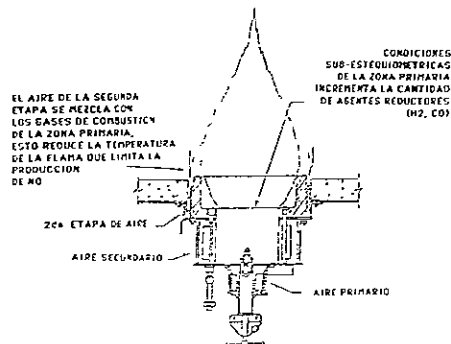
A medida que los combustibles pesados se calientan en la flama se descomponen, y dependiendo de la naturaleza de los enlaces químicos, el nitrógeno típicamente es liberado en forma de HCN o NH, compuestos que finalmente derivan en la formación de NO_x.

Los factores más importantes que determinan la cantidad de óxidos de nitrógeno producidos por el tipo de combustible quemado son: el contenido de nitrógeno en liga orgánica en el combustible y la estequiometría en la zona de la flama donde se libera el nitrógeno. Aunque generalmente no se puede hacer nada para afectar el nivel de nitrógeno en el combustible, si es posible optimizar la estequiometría de la flama.

Se han desarrollado dos tecnologías que permiten la reducción de NO_x.

Quemadores por etapas de aire

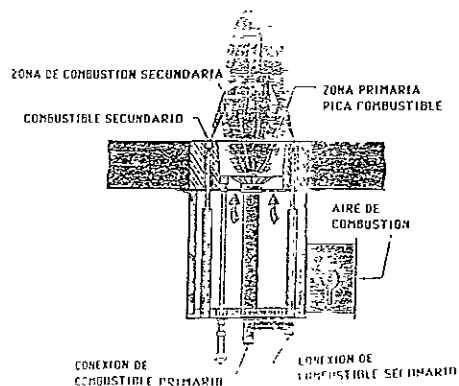
El quemador por etapas de aire marca John Zink es la mejor tecnología existente en la actualidad cuando se requiere quemar en combinación un combustible líquido y un gas. El quemador está diseñado para inyectar el aire de combustión en etapas generando dos zonas de combustión; la primaria donde se lleva a cabo una reacción subestequiométrica que limita la formación de óxidos de nitrógeno por el contenido de N en el combustible, y por otro lado la zona de combustión secundaria que mezcla los productos de combustión provenientes de la zona primaria con aire terciaria o en etapa. Esto disminuye la temperatura pico de la flama limitado la formación de óxidos de nitrógeno "térmicos"



Quemadores por etapas de combustible

En este tipo de quemador, se mezcla una porción del combustible y todo el aire de combustión en la zona primaria de combustión. Se logra una combustión muy rápida en esta atmósfera de alto exceso de aire. El exceso de aire tan alto reduce considerablemente la temperatura pico de la flama de la zona primaria. Debido a la reducción en la temperatura pico de la flama, la producción de NO_x en la zona primaria se reduce considerablemente. El combustible restante es alimentado a través de varias boquillas perimetrales que por su velocidad de operación arrastran a los productos de la zona primaria de combustión a la secundaria. Al entrar los productos de la reacción a la segunda etapa reducen la temperatura de la combustión y reducen la presión parcial del oxígeno en la reacción retardando la formación de óxidos de nitrógeno.

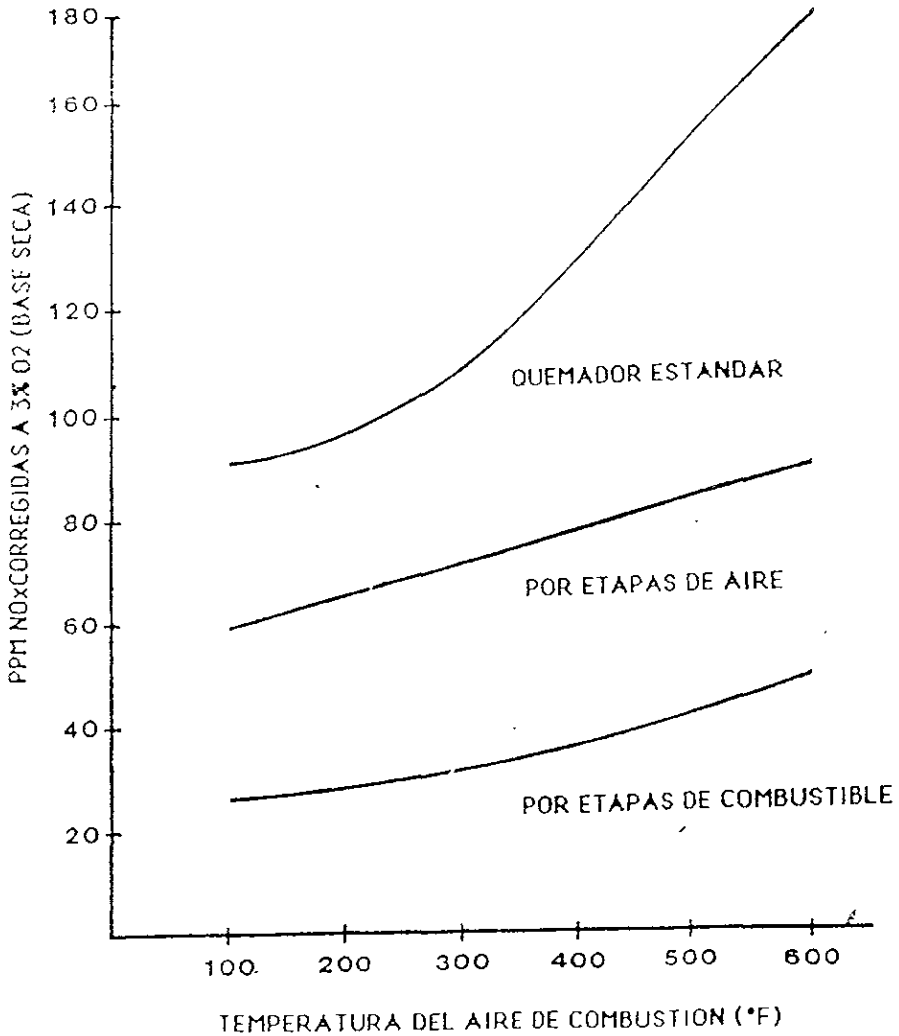
Este quemador es más efectivo en la reducción de NO_x sin embargo, hasta ahora solo es aplicable a gases combustibles, no maneja combustibles líquidos.





A continuación se muestra una tabla comparativa que compara las emisiones de un quemador por etapas de aire, por etapas de combustible y estándar

(Exceso de Aire - 10%)
(Combustible - Gas Natural)







CUESTIONARIO No. 1
INSPECCIÓN VISUAL DE C. F. D.
(EVALUACIÓN ENERGÉTICA CUALITATIVA)

PLANTA	
IDENTIFICACION	
SERVICIO	

INSTRUCCIONES En la columna de respuesta tachar la opción correcta si esta se sigue; si el espacio esta en blanco escribir la respuesta según sea el caso
 En la columna de observaciones, describir las características adicionales que pudieran existir

PREGUNTA	RESPUESTA	OBSERVACIONES
I. ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO DE LINEAS Y EQUIPO		
¿En que condiciones se encuentra el aislamiento de líneas de entrada, salida e intermedias del fluido de proceso?	Buenas condiciones Poco deterioradas Muy deterioradas	
➤ Revisar temperatura en cada serpentín de la salida del calentador	Difieren entre ellas y Con la del control de temp	
➤ Revisar aislamiento de tubería paso sección de convección a radiación	Buenas condiciones Poco deterioradas Muy deterioradas	
➤ Revisar aislamiento de tubería a la entrada del calentador y equipo	Buenas condiciones Poco deteriorado Muy deteriorado	
➤ ¿Si el equipo o tubería a la entrada del calentador no esta correctamente aislado la temp. requerida a la salida del calentador no se logra?		
II. ESTADO ACTUAL DEL REFRACTARIO EN EL CALENTADOR (EXTERNAMENTE)		
II.1 SECCIÓN DE CONVECCIÓN (DETECCIÓN DE PUNTOS CALIENTES EN LA ZONA)	Estado Zonas Oxidadas. Cantidad	<i>Grandes</i> <i>Pequeñas</i>
Lado norte		<i>Pocas</i> <i>Muchas</i>
Lado sur		
Lado este		
Lado oeste		
Techo		



CUESTIONARIO No. 1
(continuación)

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisar el estado de la pintura, el grado de oxidación de zona, (corroborar con temperatura de pared). 	Grado de deterioro Buenas condiciones Poco deteriorado Muy deteriorado	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existe en la pared deformidad 		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existe agrietamiento o cisuras 		
12 SECCION DE RADIACIÓN DETECCIÓN DE PUNTOS CALIENTES EN LA ZONA)	Estado Zonas Oxidadas Cantidad	Grandes Pequeñas Pocas Muchas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ lado norte 		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ lado sur 		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ lado este 		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ lado oeste 		
Techo		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisar el estado de la pintura, el grado de oxidación de zona (corroborar con temperatura de pared). 	Grado de deterioro Buenas condiciones Poco deteriorado Muy deteriorado	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existe en la pared deformidad 		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existe agrietamiento o cisuras 		
13 CILINDRO DETECCIÓN DE PUNTOS CALIENTES EN LA ZONA)	Estado Zonas Oxidadas Cantidad	Grandes Pequeñas Pocas Muchas
Techo		
Extremos		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisar el estado de la pintura, el grado de oxidación de zona, (corroborar con temperatura de pared) 	Grado de deterioro Buenas condiciones Poco deteriorado Muy deteriorado	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existe en la pared deformidad 		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existe agrietamiento o cisuras 		
III ESTADO ACTUAL DEL REFRACTARIO EN EL CALENTADOR (INTERNAMENTE)		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Detección de puntos calientes en el refractario 	Grado de deterioro Buenas condiciones Poco deteriorado Muy deteriorado	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar si existe choque de flama sobre el refractario o fuerte radiación (refractario incandescente), sobre el 		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existe frecuente desprendimiento de refractario (mantenimientos de reparación hacen por año) 		



CUESTIONARIO No. 1
(continuación)

IV	MAMPARAS		
	➤ <i>Numero</i>		
	➤ Operabilidad	Manual o Automática	
		Rango Total de operación (grados)	
		Grados de apertura operacional	
	➤ Estado del manómetro de tiro	Buen estado No habilitado	
	QUEMADORES		
	➤ Tipo		
	➤ Posición		
	➤ En que condiciones se encuentra los quemadores	Limpios Oxidados Obstruidos	
	➤ Condiciones de paredes o piso de quemadores	Limpios. Oxidados Obstruidos	
	➤ Condiciones de los registros		
	◆ Aire Primario		
	◆ Aire Secundario		
	➤ Forma de la flama	Irregular Demasiado Alegadas Chocan con tubos refractario	
	➤ Color de la flama		
	➤ Combustion		
	◆ Existe flama separada de boquillas		
	◆ Existe flama en el interior de del mezclador.		
V	ESTADO DE MIRILLAS DE INSPECCIÓN.		
V.1	ZONA DE RADIACIÓN	Grado de deterioro Buenas condiciones Poco deteriorado Muy deteriorado	
	➤ Cuántas mirillas estan abiertas.		
	➤ Identificar si las mirillas están flameadas		



CUESTIONARIO No. 1
(continuación)

2	ZONA DE CONVECCIÓN.	Grado de deterioro: Buenas condiciones Poco deteriorado Muy deteriorado	
➤	¿ Cuántas mirillas están abiertas		
➤	¿ Identificar si las mirillas están flameadas		
4	ESTADO DE TUBOS		
1	ZONA DE RADIACION	Grado de deterioro: Buenas condiciones Poco deteriorado Muy deteriorado	
➤	¿ Existe coloracion roja en paredes de tubos		
➤	¿ Existe coloracion roja en anclas y soportes		



CUESTIONARIO No. 2
INSPECCIÓN VISUAL DE C. F. D.
EVALUACIÓN ENERGÉTICA CUALITATIVA

(cuestionario aplicado sólo si el calentador se encuentra fuera de servicio)

PLANTA	
IDENTIFICACION	
SERVICIO	

INSTRUCCIONES En la columna de respuesta tachar la opcion correcta si esta se sugiere, si el espacio esta en blanco escribir la respuesta segun sea el caso
 En la columna de observaciones describir las características adicionales que pudieran existir

PREGUNTA	RESPUESTA	OBSERVACIONES
SECCION DE CONVECCION DETECCION DE PUNTOS CALIENTES	Grado de deterioro	Buenas condiciones Poco deterioradas Muy deterioradas
➤ Refractario (desprendido)		
➤ Refractario (agrietado)		
SECCION DE RADIACION DETECCION DE PUNTOS CALIENTES	Grado de deterioro	Buenas condiciones Poco deterioradas Muy deterioradas
➤ Refractario (desprendido).		
➤ Refractario (agrietado).		
CHIMENEA	Grado de deterioro	Buenas condiciones Poco deterioradas Muy deterioradas
➤ Existen grietas en el refractario		
➤ Existe desprendimiento de refractario		
➤ Existe erosion en la mampara		



QUESTIONARIOS

QUEMADORES.		
➤ En que condiciones se encuentran las boquillas	Limpias Oxidadas Obstruidas	
ESTADO DE TUBOS		
ZONA DE RADIACIÓN		
➤ Tubos deformados		
➤ Anclas y tirantes deformados, separados de los tubos		
2 ZONA DE CONVECCIÓN.		
➤ Tubos deformados		
➤ Anclas y tirantes deformados, separados de los tubos		
➤ Presentan acumulacion de refractario		

ANEXO
CARACTERÍSTICAS DEL ANALIZADOR DE GASES MOT-1500 Y
BACHARACH Mod. 300.

MOT-1500		BACHARACH Mod. 300	
% O ₂ VOL	0 a 20.9 %	% O ₂ VOL	0.1 a 23.5 %
CO	0 a 19.9 p p m.	CO	0 a 3700 p p m
NO _x	0 a 1000 p p m	NO _x	0 a 1999 p p m
SO ₂	0 a 2000 p p m	SO ₂	0 a 1999 p p m
Temp gases	-20 a 1000 °C	Temp gases	hasta 1093 °C

CARACTERÍSTICAS ADICIONALES

MOT-1500	BACHARACH Mod. 300
<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de combustión (ver nota) - Concentración de NO_x en combustión (ver nota) - Concentración de CO₂ en combustión (ver nota) 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de combustión (1 a 99.9 %) (ver nota). - Pérdidas por chimenea (1 a 99.9 %) (ver nota)
<ul style="list-style-type: none"> - Peso: No especificado 	<ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje CO₂ (1 a 20 %) (ver nota).
<ul style="list-style-type: none"> - Medidas: 28.65 x 18 x 9 cm 	<ul style="list-style-type: none"> - Exceso de aire (1 a 250 %) (ver nota)
<ul style="list-style-type: none"> - Tensión de alimentación: 220 V/ 50 Hz 125 V/ 50 Hz. 	<ul style="list-style-type: none"> - Peso: 6.8 Kg
<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad de batería. 	<ul style="list-style-type: none"> - Medidas: 45.7 x 35.6 x 20.3 cm.
<ul style="list-style-type: none"> - 160 memorias 	<ul style="list-style-type: none"> - Tensión de alimentación: 120 VAC 240 VAC
<ul style="list-style-type: none"> - MEDICIONES INDIRECTAS 	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad de batería
<ul style="list-style-type: none"> - Índice Bacharach (1 a 9 EB). - Porcentaje de perdidas fijas (0 a 9 %) 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Nota</u> Estos desplegados se basan en el tipo de combustible seleccionado en el mismo aparato. este contiene 14 tipos de combustible disponibles
<ul style="list-style-type: none"> - <u>Nota</u> Estos desplegados se basan en el tipo de combustible seleccionado en el mismo aparato; este contiene 5 tipos de combustible disponibles. 	

<p>El instrumento se autocalibra a partir de un aire limpio, libre de partículas tales como CO, CO₂, NOx</p>	<p>Para este modelo se requiere un diámetro mínimo de 3/8" (9.5 mm), la medición debe ser antes del damper El aparato requiere calibración, las instrucciones para hacer dicha calibración se encuentran en el manual de usuario del aparato.</p>
---	---

BIBLIOGRAFÍA

- 1 *American Petroleum Institute, Publication 560, first edition, 1995*
2. *American Petroleum Institute, Publication 535, first edition, 1995*
- 3 *American Petroleum Institute. Publication 533, first edition, 1995*
- 4 *Evaluación de Proyectos, Gabriel Baca Urbina, 2da Edición, 1990*
- 5 *Chemical Engeeniers Handbook Perry, John H., McGraw-Hill,*
- 6 *Procesos de transferencia de calor, Donald Q. Kern, CECSA, 1981*
- 7 *Applied process design for chemical and petrochemical plants Gulf Publishing Company, Ernest E Ludwig, 1964*
8. *Better burner specifications, Hydrocarbon Procesing, August 1989*
- 9 *Optimize fired heater operations to save money, Hydrocarbon Procesing, June 1997.*
10. *How to boost the performance of fired heaters, chemical engineering, November 1989.*