

2 Eq. No. 76



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**"CRITERIOS DE SELECCION Y DIMENSIONAMIENTO
DE QUEMADORES DE CAMPO PARA GASES"**

T E S I S

INGENIERO QUIMICO

JOSE CARLOS OCHOA DE LA TORRE

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CRITERIOS DE SELECCION Y DIMENSIONAMIENTO
DE QUEMADORES DE CAMPO PARA GASES .

I N D I C E

1. INTRODUCCION .
2. GENERALIDADES .
 - 2.1. Combustión.
 - 2.2. Normas respecto la Contaminación Ambiental.
 - 2.3. Factores de la Combustión.
3. CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE QUEMADORES .
 - 3.1. Clasificación General.
 - 3.2. Quemador Elevado.
 - 3.3. Quemador de Fosa.
 - 3.4. Accesorios de Quemadores.
4. DIMENSIONAMIENTO DE QUEMADORES .
 - 4.1. Dimensionamiento de Quemador Elevado.
 - 4.2. Dispersión de Gases.
 - 4.3. Dimensionamiento de Quemador de Fosa.
5. PROGRAMA DE CALCULO PARA QUEMADOR ELEVADO .
 - 5.1. Diagrama de Flujo.
 - 5.2. Listado del Programa.
 - 5.3. Ejemplo Teórico.

6. BASES Y ESPECIFICACIONES GENERALES PARA QUEMADOR ELEVADO.

6.1. Bases de Cálculo.

6.2. Requerimientos de Diseño.

6.3. Requerimientos de Prueba y Entrega del Quemador.

7. CONCLUSIONES.

3. BIBLIOGRAFIA .

En este trabajo se presentan las bases teóricas generales sobre los diferentes tipos de Quemadores de Campo más utilizados en la industria petroquímica, con objeto de dar un criterio para la selección y dimensionamiento propio de los mismos.

El sistema de quemadores y el sistema de desfogue son los elementos más importantes para la seguridad de las plantas industriales que manejan grandes cantidades de sustancias flamables y tóxicas, pues en las fallas inadvertidas de la operación normal que originan condiciones de presión excesiva en los equipos de proceso, de no contar con los sistemas adecuados de protección, se pueden provocar grandes explosiones o incendios.

Para el aprovechamiento óptimo del gas natural como fuente de energía, en México se requieren de grandes estaciones de compresión, de grandes plantas de endulzamiento y de extensas redes de distribución; de las cuales, se debe garantizar la operación segura de estas instalaciones, contando con los sistemas adecuados de protección, sin embargo, ante el rápido desarrollo del país, no se ha dado la debida importancia a los sistemas de quemadores de campo, y aunque los ya instalados han cumplido eficazmente en las fallas que se han presentado, es necesario considerarlos nuevamente, para que por un mejor diseño operen con mayor grado de seguridad, y se reduzca al mínimo la contaminación ambiental que producen.

Un sistema de quemadores de campo debe funcionar con gran flexibilidad, es decir, debe operar con un amplio rango de flujos de gas, de diversas composiciones, y a condiciones variables de presión

y de temperatura, además, que deben operar aunque las condiciones del clima sean adversas.

En el dimensionamiento de quemadores se deben tomar en cuenta consideraciones de flujo de fluidos, de transferencia de calor y de transferencia de masa.

2. GENERALIDADES

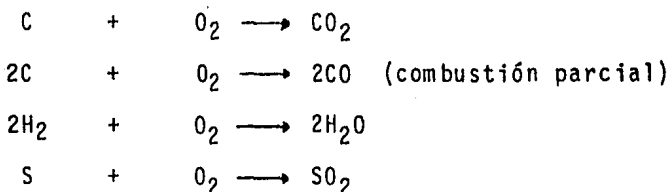
El sistema de quemadores tiene la función de disponer de las sustancias flamables o tóxicas mediante una combustión. Dichas sustancias son relevadas en situaciones de emergencia a través de válvulas de seguridad, de discos de ruptura o bien de válvulas de control de presión (dentro de operación continua normal), y son conducidas por el sistema de desfogue hasta el sistema de quemadores. El sistema de desfogue debe entregar los productos relevados en forma rápida y segura, garantizando la protección de los equipos y permitiendo una operación adecuada del sistema de quemadores.

La combustión del sistema de quemadores constituye la forma más segura de disponer las sustancias flamables y tóxicas, pues en el caso de que estas sean relevadas directamente a la atmósfera se pueden provocar explosiones, incendios, o intoxicaciones.

2.1. COMBUSTION

La combustión es la reacción química en que se combinan rápidamente el oxígeno con los elementos del combustible (carbón, hidrógeno y azufre).

Las ecuaciones básicas de la combustión son las siguientes:



Todos los combustibles comerciales estan compuestos por hidrocarburos, con ciertas impurezas. Durante la combustión, suceden reacciones complejas de oxidación del combustible, hasta los elementos simples de combustión, en diferentes niveles de temperatura.

La combustión procede en diferente mecanismo dependiendo si la mezcla de combustible y el oxígeno ocurre antes de la combustión (premezclado) o si ocurre en la combustión misma. En este último caso, la combustión precalienta el gas en ausencia de aire ocasionando una descomposición térmica del gas, produciendo moléculas de hidrógeno, hidrocarburos insaturados y carbón. El hidrógeno se quema con una flama no visible, pero las partículas de carbón se vuelven incandescentes y producen una flama amarilla luminosa. En el caso en que sucede un premezclado del aire y el combustible, (como un mechero "bunsen") la mezcla se precalienta y el resultado es una flama azul poco luminosa, este es un proceso de combustión de hidroxilación, porque la mezcla de oxígeno e hidrocarburos antes de la ignición forma compuestos hidroxilados.

El oxígeno se suministra generalmente como un constituyente del aire. Si se suministra la cantidad teórica de aire requerida (este quiométrica) a un quemador operando no habrá una combustión completa; se requiere de un exceso de aire para una combustión más completa, además de tres factores importantes:

Tiempo

Temperatura

Turbulencia

Una combustión completa debe tener: (1) suficiente tiempo para completar la reacción química, (2) suficiente temperatura para calentar la mezcla combustible-aire en sus etapas de descomposición y para la ignición de carbón e hidrógeno, y (3) suficiente turbulencia para mezclar el oxígeno con el combustible.

La combustión es completa cuando el combustible ha sido oxidado.

Para el caso de combustibles sólidos y líquidos de combustión mejora, cuando hay más superficie de contacto con el aire, y en el caso de pequeñas gotas de líquido fácilmente se evaporan cuando están expuestas al calor tratándose finalmente de un gas en combustión.

Cada combustible tiene una velocidad de propagación de flama, que depende de la proporción de oxígeno presente, y de la complejidad de su molécula. Los límites de flamabilidad son característicos para cada substancia combustible, los cuales dan el rango en que la mezcla de aire y combustible es flamable. Cuando la concentración de combustible disminuye abajo del límite pobre de flamabilidad cesa la combustión. En la tabla 9-19 del Perry J.H., "Chemical Engineer's Handbook, 4th Edition, pág. 9-31 se presentan los límites de flamabilidad de algunos combustibles a temperatura y presión atmosféricas.

Como definición, un quemador es una unidad que produce una flama, que debe mezclar el combustible y el oxígeno en proporciones dentro de los límites de flamabilidad para la ignición y una combustión uniforme.

La ignición o encendido de la mezcla flamable se logra de varias formas, tales como chispas eléctricas, superficies calientes o con otras flamas.

Déspues de la ignición la flama debe mantenerse estable en el quemador. Una flama es estable cuando la velocidad de suministro de combustible (gas) y de oxígeno es menor que la velocidad de propagación de la flama, en caso contrario, para evitar apagado, se debe tener un retenedor de flama.

La combustión de un quemador tiene asociados los siguientes factores: humo, ruido, luminosidad y radiación térmica, que constituyen formas de contaminación ambiental y se rigen por las normas que a continuación se exponen.

2.2 NORMAS RESPECTO A CONTAMINACION AMBIENTAL

La contaminación ambiental es un grave problema mundial, por lo que casi todos los países han generado reglamentos para solucionarlo.

Se debe reducir el impacto ambiental por efluentes gaseosos, para no causar daños y molestias a la vida y no haya una degradación del medio. Los reglamentos en contra de la contaminación ambiental son más estrictos en los países industrializados, en tanto que en México, el reglamento existente está en una etapa poco desarrollada, ya que solamente se establecen normas y límites de contaminación a nivel muy general.

En México rige la "Ley Federal de Protección al Ambiente, publicada en enero de 1982.

En esta ley se presentan las restricciones por la emisión de humos y polvos, y de la protección del ambiente por efectos de energía térmica

ca y ruido, entre otras.

Respecto a la emisión de humo y polvo son medidas mediante la escala conocida como Carta de Humo de Ringelmann, la cual es aplicada con diferente criterio según sea la fuente emisora, pero en promedio el número más común permitido es de dos. Estas medidas son casi nulas ya -- que no mencionan o califican contaminantes tóxicos específicos más dañinos que la generalidad de humos y polvos.

En Estados Unidos la E.P.A. (Environmental Protection Agency) es la dependencia que controla, norma y regula cualquier contaminante.

Asimismo, el A.P.I. (Instituto Americano del Petróleo) publica los niveles permisibles de contaminantes, los cuales se mencionan en las siguientes partes de este capítulo.

2.3 FACTORES ASOCIADOS A LA COMBUSTION

La combustión de un quemador tiene asociados los factores siguientes:

Humo

Ruido

Luminosidad

Radiación térmica

2.3.1. HUMO

Los productos de una combustión completa de hidrocarburos son el bióxido de carbono y vapor de agua, y se requiere de aire mayor a la canti -

dad estequiométrica necesaria, es decir que el aire va en exceso. Este aire necesario es mayor cantidad cuando el peso molecular del gas es mayor. Si no se cuenta con el aire suficiente, la combustión es incompleta y hay formación de humo.

El aire es suministrado a la flama como aire primario que es premezclado con el gas antes de la combustión, y como aire secundario que es inspirado dentro de la flama misma.

Cuando hay suficiente aire primario, la reacción de combustión procede formando aldehidos, que continúan oxidándose en la flama para finalmente formar bióxido de carbono y vapor de agua, y no da lugar a la formación de partículas de carbón a manera de humo. Cuando no hay aire primario en cantidad suficiente, los gases que llegan a la base de la flama se precalientan causando reacciones de polimerización o de cracking térmico, que producen hidrocarburos insaturados, no teniendo una combustión completa por su estructura compleja, y formando partículas incandescentes dentro de la flama, siendo esta muy luminosa, y cuando estos escapan de la flama, se enfrían para formar hollín y humo. Las corrientes de gas a baja presión son propensas a formar mucho humo, debido a la falta de aire primario, e insuficiente inspiración de aire secundario.

Existen boquillas especiales para quemadores que por una inyección de aire o vapor logran una combustión más limpia, libre de humo. La temperatura de la flama afecta directamente la cantidad de humo resultante, como consecuencia de la descomposición térmica de hidrocarburos y la formación de compuestos insaturados de estructura compleja. Si se inyecta agua o vapor en la corriente de gas, la zona de combustión alcanza una -

menor temperatura dado el efecto de dilución, además la turbulencia crea da incrementa la cantidad de aire secundario inspirado y es mejor distribuido dentro de la flama; hasta puede presentarse una reacción endotérmica carbón-agua, esto dá por resultado una combustión completa, limpia o libre de humo, evitando así la contaminación, ya que las restricciones ambientales son cada día más estrictas en este aspecto.

Cuando la corriente de gases contiene ácido sulfhídrico y otros compuestos volátiles de azufre, como mercaptanos, forman en la combustión óxidos de azufre que con la humedad ambiental resultan ser muy corrosivos e irritantes, en estos casos la boquilla del quemador se diseña considerando los posibles efectos de la corrosión, y el quemador se dimensiona considerando que los gases tóxicos deben tener una buena dispersión en la atmósfera de manera que a nivel de piso exista una concentración menor a la concentración dañina.

2.3.2. RUIDO

El ruido total que acompaña la combustión de una corriente de gases esta compuesto por dos partes: un rugido propio de la combustión, y el ruido de la corriente de gas que fluye a alta velocidad.

El ruido de la combustión en un quemador, es proporcional a la cantidad de aire primario inspirado en la corriente de gas y sí aumenta la cantidad de aire inspirado, se obtiene una flama sin humo, pero se incrementa el ruido.

Cuando hay un flujo de gas a alta velocidad a través de una restricción (como una placa de orificio) se genera ruido a consecuencia de una disipación de energía, el límite de velocidad que puede alcanzar las partículas de gas es la velocidad del sonido en ese gas, que es la velocidad de propagación de una onda de presión. Por la caída de presión en una línea, hay un incremento de velocidad en tanto el fluido sigue corriente abajo en una tubería de sección uniforme, y la velocidad máxima ocurre en el extremo corriente abajo de la línea. Si la caída de presión es suficientemente alta alcanzará la velocidad sónica. Si se incrementa todavía más la diferencia de presión, la corriente de gas llega al extremo de la tubería con una presión "sobrante" y a velocidad sónica; esta presión se pierde en ondas de choque y turbulencia, que se manifiestan como ruido y vibraciones.

Se puede estimar el ruido proveniente de un quemador en base a niveles de ruido a 100 m. de distancia, por la ecuación: (Referencia No. 1)

$$L_p = L_A - 20.0 \log_{10} \left(\frac{R_p}{R_A} \right)$$

donde:

L_p : nivel de ruido en el punto P, en decibeles

L_A : nivel de ruido en el punto A, en decibeles

R_p : distancia de P al quemador, en metros

R_A : distancia de A al quemador (100 m.)

No existen implementos extras para evitar el ruido proveniente de un quemador, pero se dimensiona considerando ciertos límites de velocidad, y considerando el tipo de boquilla, de manera que el nivel de ruido a nivel de piso no exceda de 100 db.

2.3.3. LUMINOSIDAD

Los hidrocarburos que son sometidos a una completa combustión con aire suficiente dan una flama azul, poco luminosa. Cuando el aire es insuficiente, la flama se vuelve luminosa, y hay desprendimiento de humo.

La luminosidad de la flama se debe a la presencia de partículas incandescentes que dan una coloración anaranjada, luminosa, y cuando escapan de la flama, las partículas se enfrían y forman humo y hollín.

Cuando se inyecta vapor a la corriente de gas, o también a la zona de combustión, se aumenta la inspiración de aire secundario como consecuencia de incrementar la turbulencia, la temperatura de la flama es menor y disminuyen la luminosidad y el humo.

2.3.4. RADIACION TERMICA

Cuando una corriente de hidrocarburos es quemada en un medio abierto, hasta un 40% del calor de combustión en función de la temperatura de flama puede ser emitido como radiación, y el 60% restante va por convección natural al aire de su alrededor. (Referencia No. 3)

La emisividad de una flama es un parámetro difícil de estimar que disminuye para flamas cortas y luminosas, y que el humo de un efecto - protector que impide el paso de la radiación, y además el calor total - producido es menor como consecuencia de una combustión incompleta.

Existen dos modelos para estimar la radiación proveniente de la flama de un quemador elevado:

- 1.- Considerando al centro de flama como punto fuente de radiación ("Point Source Model"). (Referencia No. 3)
- 2.- Considerando que la radiación proviene de toda la superficie exterior de la flama. (Referencia No. 13)

Ambos modelos tienen consideraciones sujetas a discusión en cuanto a: la longitud, forma e inclinación de la flama, y estimación del punto central de donde proviene la radiación, así también la estimación de la emisividad o la fracción del calor que es emitido como radiación.

El Instituto Americano del Petróleo (API) da el siguiente criterio de la radiación permisible en diferentes puntos cercanos al quemador: (Referencia No. 1)

Radiación BTU/hr.ft ²	Localización
750	En el límite exterior de la planta (límite de baterías)
1500	Areas donde personal sin protección, con ropa normal, permanezca por pocos minutos en tanto el quemador esta operando a máxima capacidad.
2000	Areas donde personal sin protección, con ropa normal deba permanecer máximo 1 minuto para acciones de emergencia.

3000 Valor máximo para diseño, a cualquier localidad donde el personal tiene acceso, por ejemplo a nivel de piso o en plataformas de servicio.

En torres y estructuras elevadas, las escaleras deben ser puestas en el lado opuesto al quemador, para que pueda dar cierta protección a la radiación.

Los efectos de la radiación térmica sobre la piel del cuerpo humano, sin protección alguna se muestra a continuación: (Referencia No. 7)

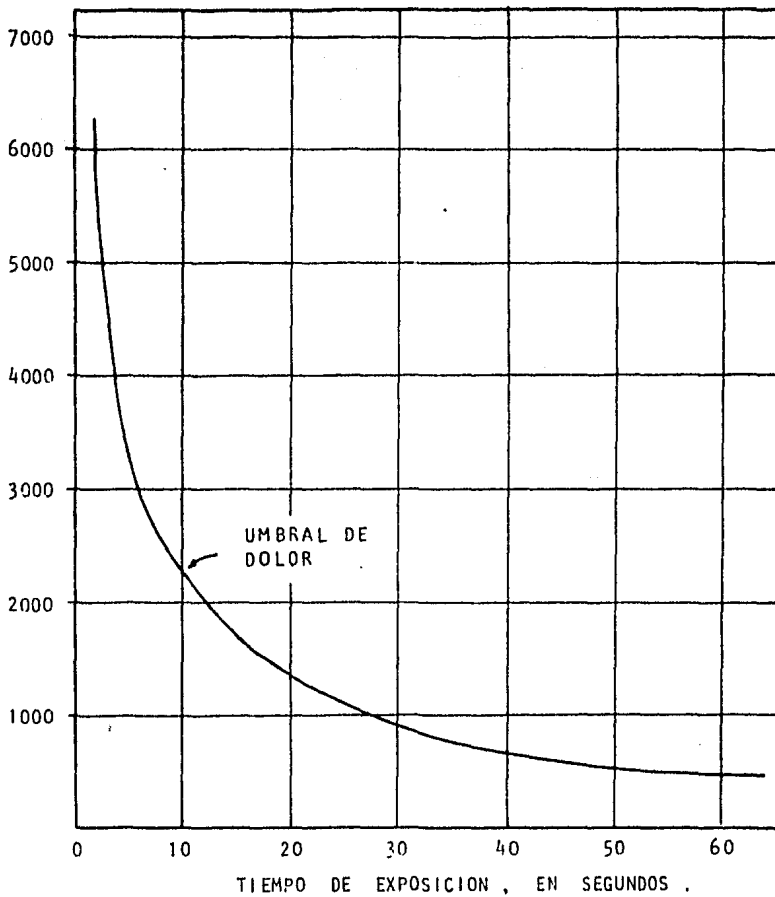
Intensidad BTU/hr.ft ²	Tiempo en que se alcanza el umbral de dolor (seg).	Ampollamiento (seg.)
1500	16	30
2000	10	20
5300	- -	5

A continuación se muestran gráficas Nos. 1 y 2 que muestran la intensidad de radiación térmica contra el tiempo de exposición en que se alcanza el umbral de dolor para piel humana (sin protección), y el efecto de la radiación térmica sobre equipos metálicos, que en función del tiempo de exposición alcanzan una cierta temperatura. (Referencias 6 y 7)

La radiación solar es aproximadamente de 350 BTU/hr. ft². Normalmente se toma como base que la radiación no será mayor de 1500 BTU/hr.ft² a nivel de piso en el caso de la falla mayor en la planta, sin embargo en ocasiones resulta un cálculo de altura muy grande, y es prácticamente imposible y poco económico, por lo que se toman otras medidas para garantizar la seguridad, y se declaran zonas en que se prohíbe pasar sin la debida protección.

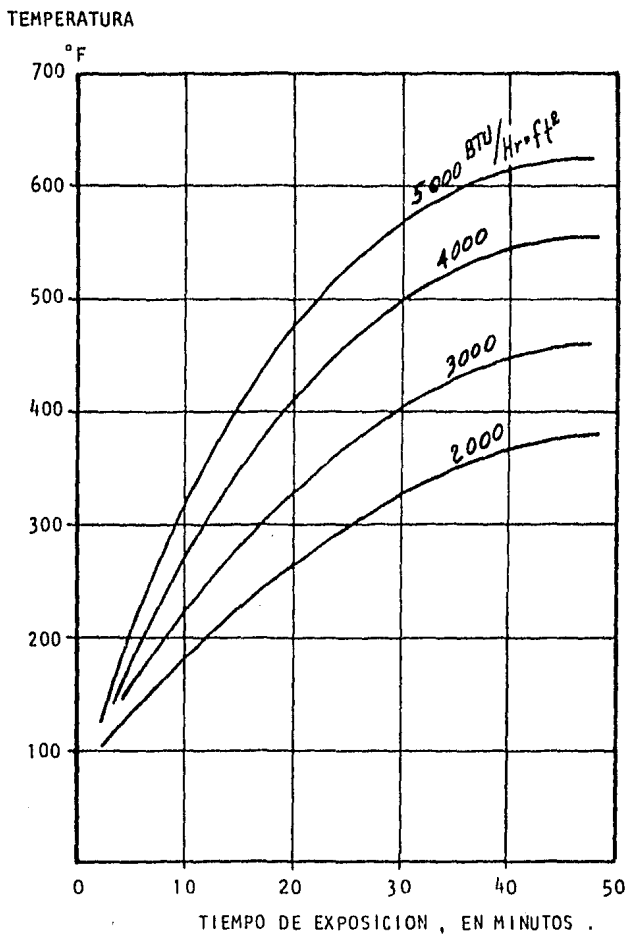
INTENSIDAD DE RADIACION TERMICA VS TIEMPO DE EXPOSICION

INTENSIDAD DE
RADIACION TERMICA
(BTU/Hr*Ft²)



GRAFICA No. 1

TEMPERATURA EN SUPERFICIE METALICA VS TIEMPO DE EXPOSICION



NO SE HA CONSIDERADO EL ENFRIAMIENTO DEBIDO AL VIENTO

GRAFICA No. 2

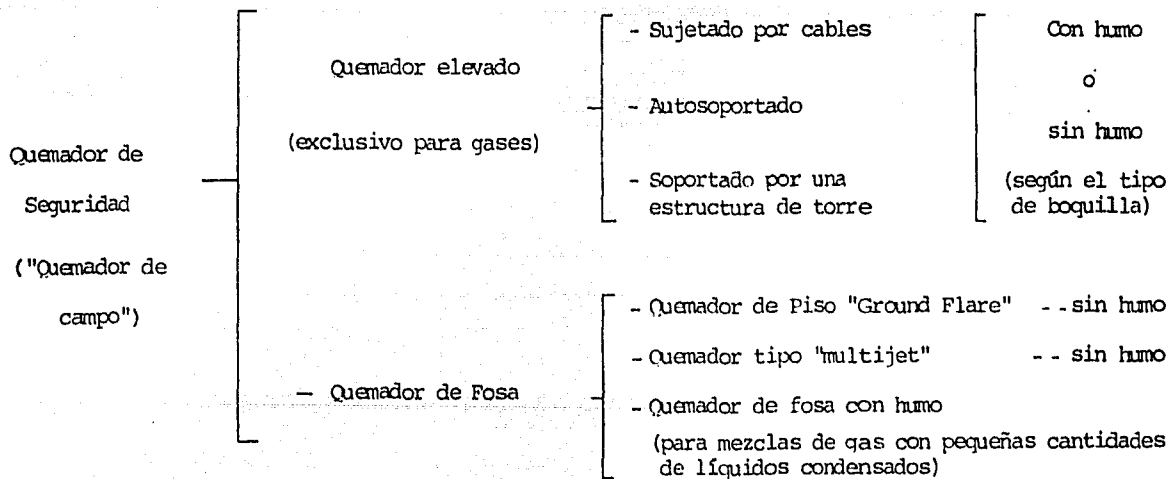
3. CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LOS QUEMADORES DE SEGURIDAD.

En este capítulo se presentan la clasificación y la descripción de los quemadores de seguridad más utilizados en la industria petroquímica.

Han sido llamados Quemadores de Seguridad con objeto de diferenciarlos de los quemadores para hornos que tienen una función muy distinta, no obstante que se les conoce genéricamente como Quemadores de Campo.

No se consideran los quemadores especiales para líquidos, ni el quemador tipo incinerador que es utilizado para sustancias sumamente tóxicas, de los cuales no existe suficiente información publicada.

3.1 CLASIFICACION GENERAL



3.2 QUEMADOR ELEVADO

El uso de quemadores elevados es un medio seguro de disponer de grandes cantidades de gas, que originando flamas grandes y luminosas han llamado la atención en cualquier refinería.

Son elevados con objeto de reducir la radiación, el ruido y que los gases tóxicos que puedan desprender no formen concentraciones tóxicas a nivel de piso. Poseen las siguientes ventajas:

- Requieren de poco espacio, pero es importante estimar una área de seguridad que es riesgosa porque puede recibir excesiva radiación térmica.
- Tienen gran flexibilidad de operación en cuanto a las cantidades de gas que pueden quemar.
- Se aprovechan para la emisión de gases contaminantes que ya sea por combustión o dispersión no se alcance una concentración mayor a la tóxica, a nivel de piso.

De acuerdo al tipo de estructura o soporte hay tres tipos básicos de quemador elevado:

3.2.1 QUEMADOR SUJETADO POR CABLES

Este sistema ha sido contruido con alturas hasta de 600 ft. necesarios para quemadores de emergencia con diámetros muy grandes. Requiere de cables sujetadores en dos o tres niveles conectados a anclajes o

pesos muertos de concreto enterrados, y que por estos cables ocupan un mayor espacio, es una área cuyo diámetro es aproximadamente a la altura del quemador. Para alturas mayores de 200 ft es el tipo de estructura más económica. Ver el esquema No. 1.

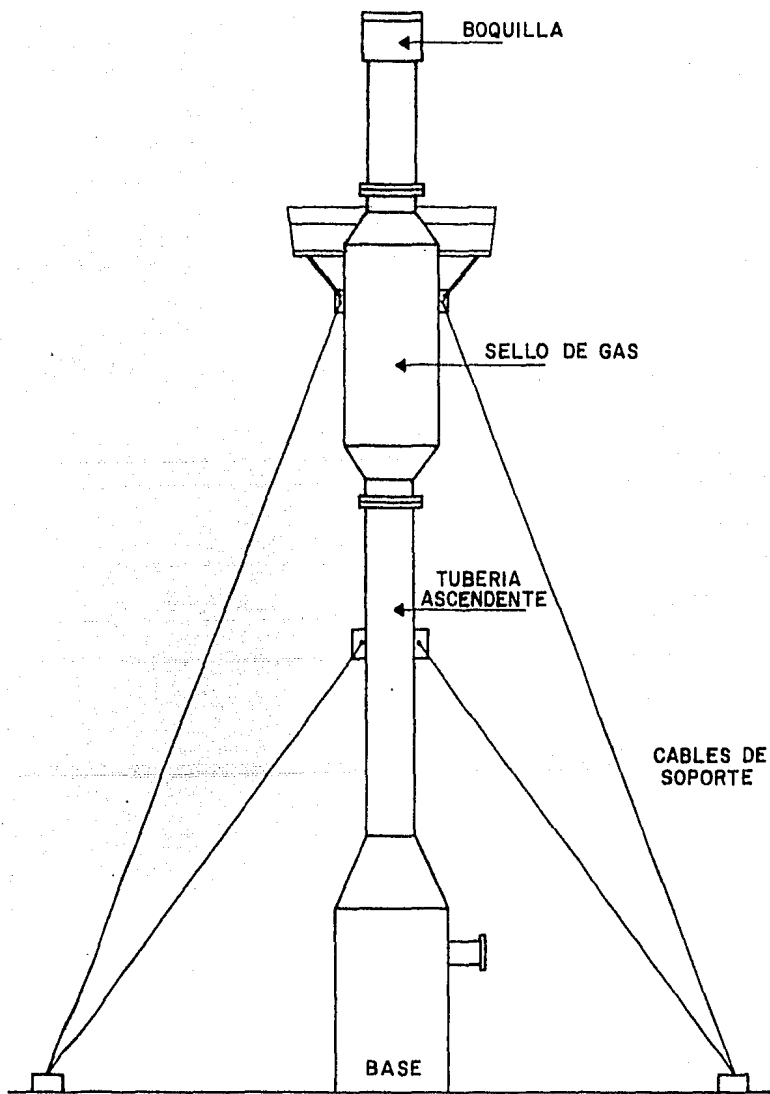
3.2.2 QUEMADOR AUTOSOPORTADO

Es el sistema en que la tubería ascendente es el soporte estructural del quemador. Es usado para alturas hasta de 250 pies o menores, en que es el tipo más económico. Un quemador autosoportado de 250 ft. de altura requiere solamente de una base que ocupa una área cuyo diámetro es de 12 ft.. La fuerza de los vientos puede hacer oscilar la estructura, para disminuir esto, se usan diferentes diámetros a lo largo de la tubería ascendente, y se le instalan deflectores de viento. Son de fácil erección y requieren del mínimo espacio.

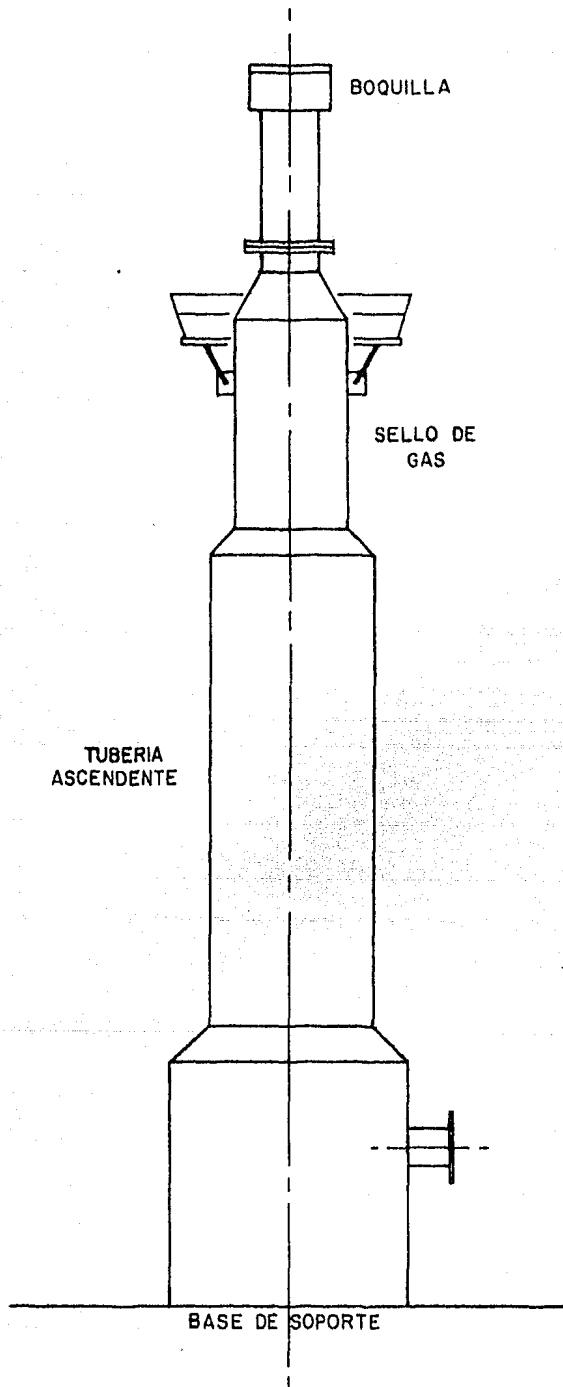
Ver el esquema No. 2.

3.2.3 QUEMADOR CON ESTRUCTURA DE TORRE "DERRICK"

Este tipo es ideal para instalaciones dentro de la planta, donde se necesite una gran elevación para minimizar la radiación y donde el espacio libre entre otros equipos está limitado. Se han construido con altura hasta de 400 ft. y requiere de una área en la base con diámetro aproximado de 36 ft. Ver el esquema No. 3.

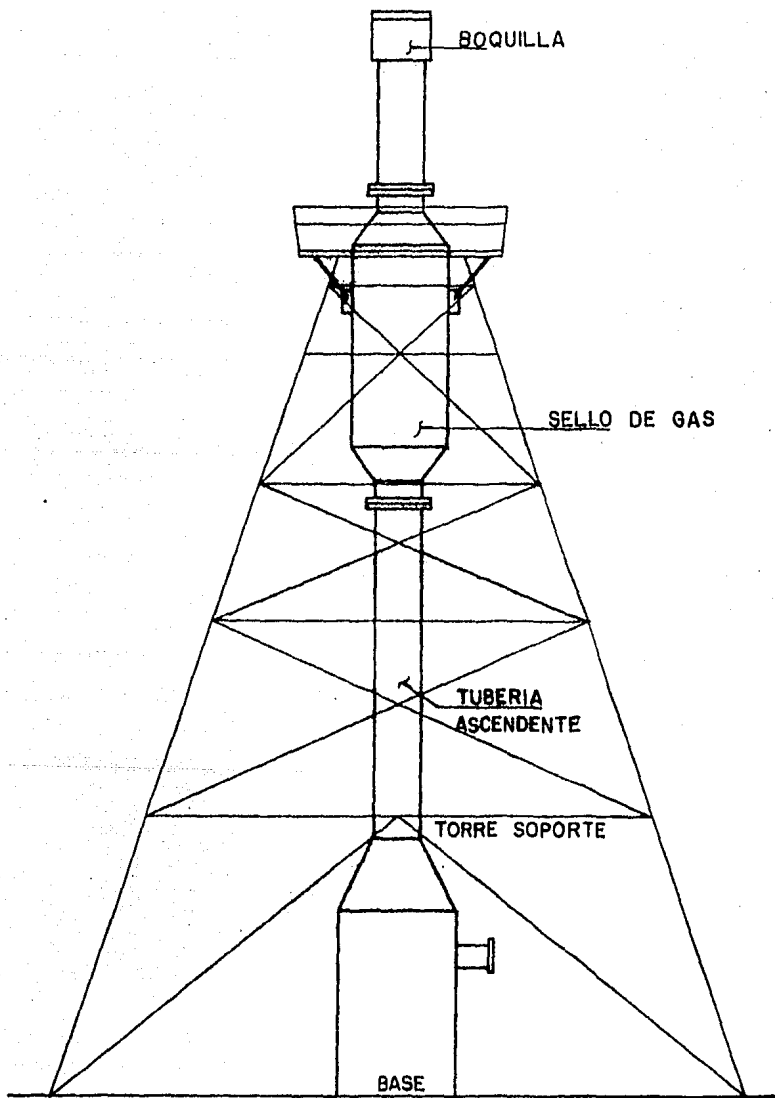


ESQUEMA No 1 QUEMADOR SUJETADO POR CABLES



ESQUEMA No. 2

QUEMADOR AUTOSOPORTADO



ESQUEMA No 3 QUEMADOR CON SOPORTE ESTRUCTURAL DE TORRE ("DERRICK").

3.2.4 Existe un 4o. tipo de quemador elevado, el "Trípode", que es una unidad portátil usualmente utilizada para pruebas y es de 20 a 30 ft. de altura.

3.3 QUEMADOR DE FOSA

Ante numerosas demandas públicas que tuvieron las refinerías debido al humo, ruido y luminosidad de los quemadores elevados, se desarrollaron los quemadores de fosa, en que se adaptó una protección contra la luminosidad y ruido y se puede controlar el humo eficientemente.

Existen tres tipos de estos quemadores:

- 1.- Quemador de Piso "Ground Flare"
 - 2.- Quemador tipo "Multijet"
 - 3.- Quemador de fosa con humo
- } (sin humo)

Debido al alto costo y a las limitaciones de capacidad de un quemador de fosa, normalmente se usa en conjunto con un quemador elevado. Este arreglo permite que para la operación continua normal y ligeras emergencias se utilicen ambos quemadores.

3.3.1 QUEMADOR DE PISO "GROUND FLARE"

En este tipo de quemador, la combustión tiene lugar a nivel de piso dentro de una cámara de metal recubierta por material refractario, con

accesorios para el suministro de supresores de humo, que pueden ser por inyección de vapor, agua o aire.

Ocupan gran espacio para la capacidad que pueden manejar pero son muy eficientes. Ver el esquema No. 4. (Referencia No. 3)

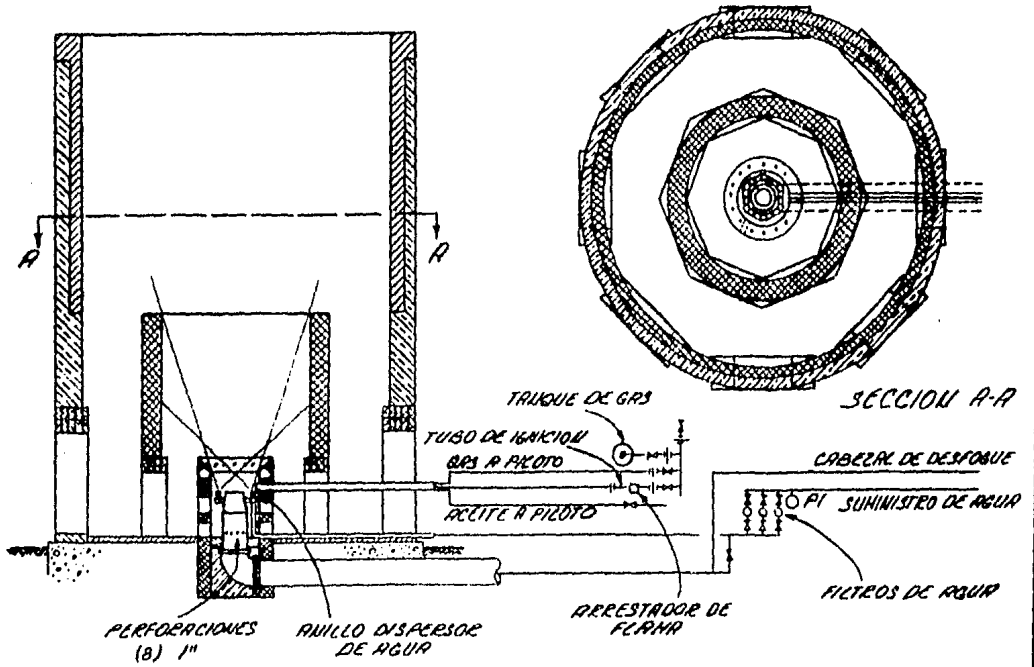
3.3.2 QUEMADOR TIPO "MULTIJET"

Es un quemador para gas de alta presión (mayor a 5 psig) con una operación sin problemas de humo y luminosidad.

Consiste de una pared de material refractario ligeramente elevada del piso y contiene a nivel de piso varias hileras de boquillas de quemado.

Son una serie de líneas paralelas horizontales o "cabezales" (cubiertas de material refractario) que cruzan el fondo de la estructura, cada uno contiene una serie de pequeños tubos verticales por donde se descarga el gas a través de la boquilla. Unos rodillos sólidos de material refractario están montados arriba de las boquillas en forma paralela a los cabezales.

Los gases inciden contra este rodillo que funciona como "Retenedor de Flama" donde empieza la flama. Operan mediante un control de presión, es decir, para poco flujo de gas opera solamente el primer cabezal; tiene una toma de la señal de presión que va a un control que acciona la válvula controladora de presión para abrir y que opere la se-



ESQUEMA No. 4 QUEMADOR DE PISO (GROUND FLARE)

gunda etapa, ésta tiene otro sensor que accionará la siguiente etapa. Tiene un piloto para cada cabezal, que encendiendo la primera boquilla, ésta prende a la siguiente y así de manera progresiva.

Ver el esquema No. 5. (Referencia No. 3)

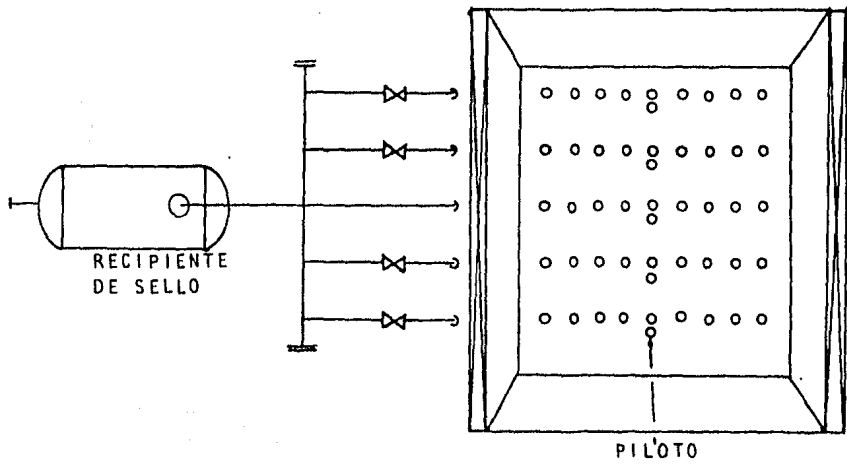
3.3.3 QUEMADOR DE FOSA CON HUMO

Una adaptación para quemador de fosa consiste en colocar una boquilla de "tubo" o del tipo de "tulipan" en posición horizontal dentro de una fosa de material refractario; en estas fosas se puede quemar mezclas de líquido y gas. Ver el esquema No. 6. (Referencia No.3)

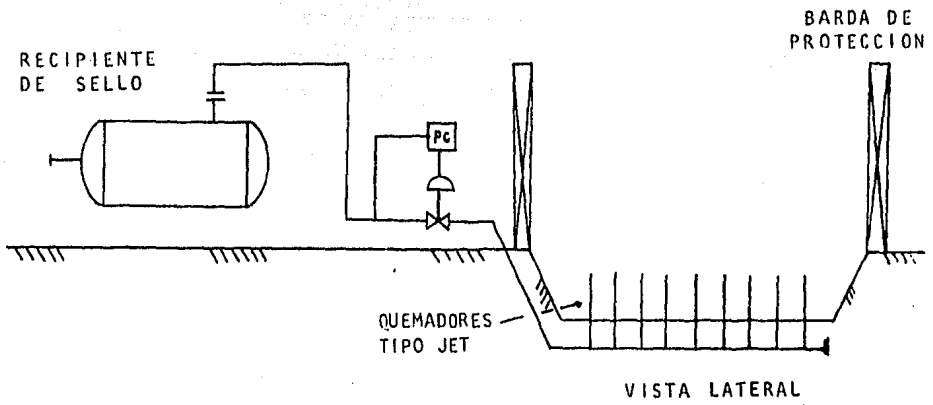
3.4 ACCESORIOS

Los accesorios más importantes de un quemador son:

- Pilotos y sistema de ignición
- Separador de condensados (opcional)
- Boquilla
- Sello de gas para quemador elevado (opcional)
- Sello líquido
- Tubería ascendente de quemador elevado
- Plataformas y escaleras de quemador elevado
- Soporte estructural del quemador elevado



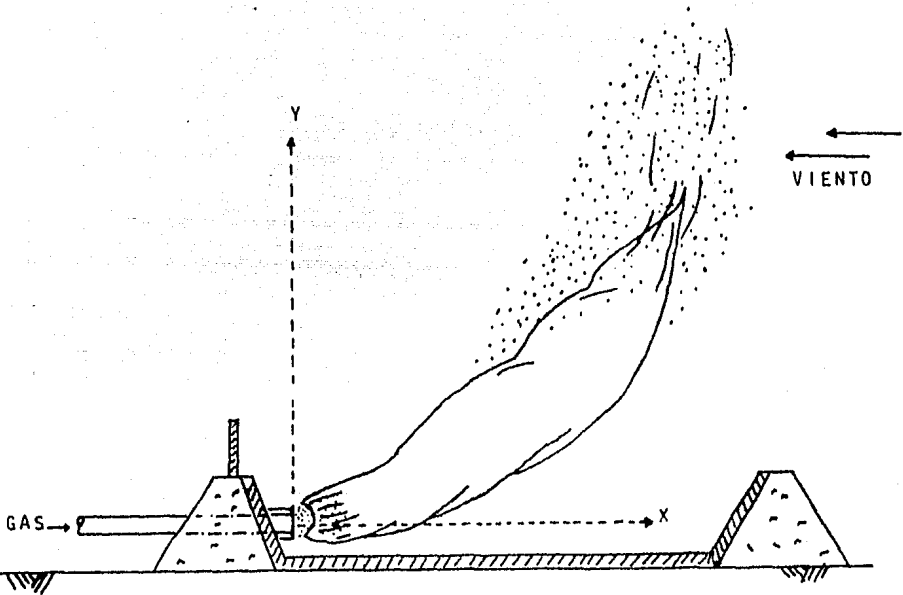
VISTA EN PLANTA



VISTA LATERAL

ESQUEMA No. 5

QUEMADOR DE FOSA, SIN HUMO (LRGO)



ESQUEMA No. 6

QUEMADOR DE FOSA, CON HUMO

3.4.1 PILOTOS Y SISTEMA DE IGNICION

El sistema de quemadores debe contar con los pilotos necesarios y de un sistema de ignición seguro y confiable, para mantener la flama continuamente en la boquilla del quemador, y que en cualquier momento que se pierda la flama haya un encendido inmediato de los pilotos ya sea por una acción automática o manual.

Los pilotos son normalmente alimentados con gas natural y están separados 120° en la circunferencia de la boquilla, de manera que el efecto del viento sea mínimo y hasta en las condiciones adversas por velocidad del viento alta o en la operación anormal se mantengan encendidos los pilotos y el quemador.

La disponibilidad del gas natural para pilotos puede contar con un control automático o bien las señales para que en caso de falla en la fuente primaria, se puede utilizar otra fuente alternativa, como por ejemplo de tanques de emergencia.

Los pilotos son encendidos remotamente desde un tablero en que se genera un frente de flama, que consta con el suministro de gas combustible y de aire comprimido que se mezclan y se enciende por la chispa de una bujía, la flama viaja a lo largo de la línea hasta encender el piloto.

Los tableros de ignición se colocan alejados del quemador, donde la radiación térmica no exceda de $1500 \text{ BTU/hr.ft.}^2$. Pueden ser para operación manual o automática en cuanto a la reignición de los pilotos cuando se han apagado. Estos sistemas de ignición automáticos constan

de válvulas solenoides para controlar el aire y el gas combustible, y además un sistema de control en base a temporales contactores instalados en los pilotos, y unas luces indicadoras de falla.

Ver el esquema No. 7 .

3.4.2. SEPARADOR DE CONDENSADOS .

Cuando una válvula de seguridad abre a una presión elevada, se producen enfriamientos debidos a la expansión que sucede en la válvula, y es frecuente que la temperatura descienda por abajo del punto de rocío del gas relevado, habiendo condensación. Los líquidos de la línea de desfogue causan problemas de operación en el quemador, pues hasta una pequeña cantidad de líquido ocasiona problemas de humo, luminiscencia y además las gotas encendidas caen al suelo provocando una "lluvia de fuego"; todo esto se evita mediante un separador de condensados que generalmente se asocia también con un sello de agua. Estan provistos con una malla para detener el rocío que pueda arrastrar la corriente de gas. Generalmente son verticales y construidos dentro de la base del quemador elevado, estos sellos cumplen dos funciones:

- Separar el líquido de la corriente de gas hacia el quemador .
- Mantener una presión positiva en el cabezal de desfogue, evitando la entrada de aire. Cuando el flujo de gas es bajo, el aire puede entrar y difundirse en el sistema, formando mezclas explosivas ocasionando una retrospcción de flama y una explosión.

Ver esquema No. 8.

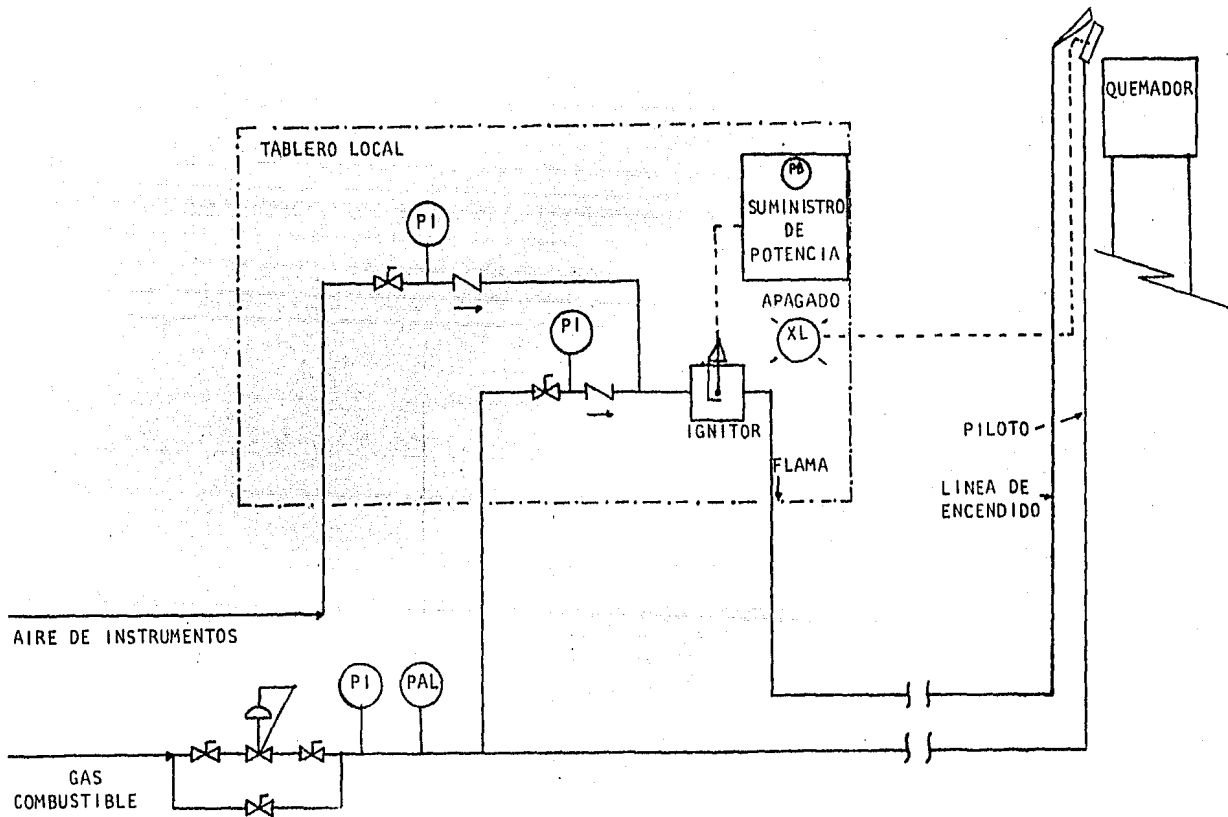
3.4.3. BOQUILLA

Existen tres tipos principales de boquillas para quemador:

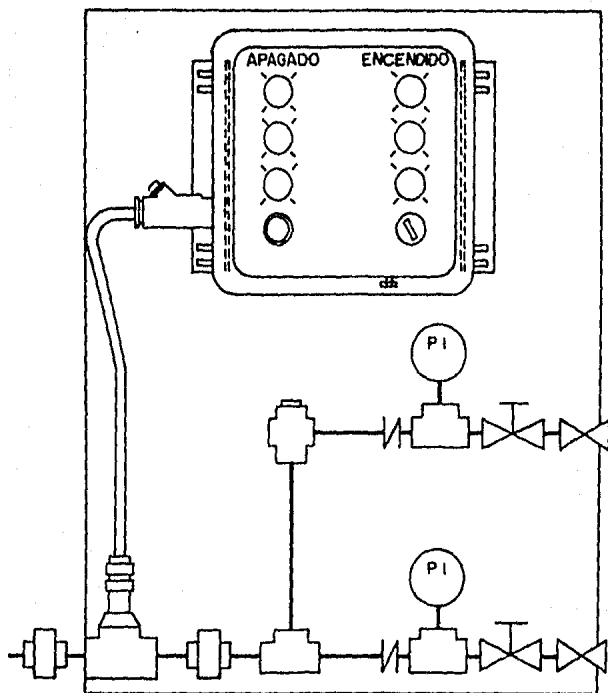
1° De tubo.

Esta boquilla es usada para manejar grandes volúmenes de gas de

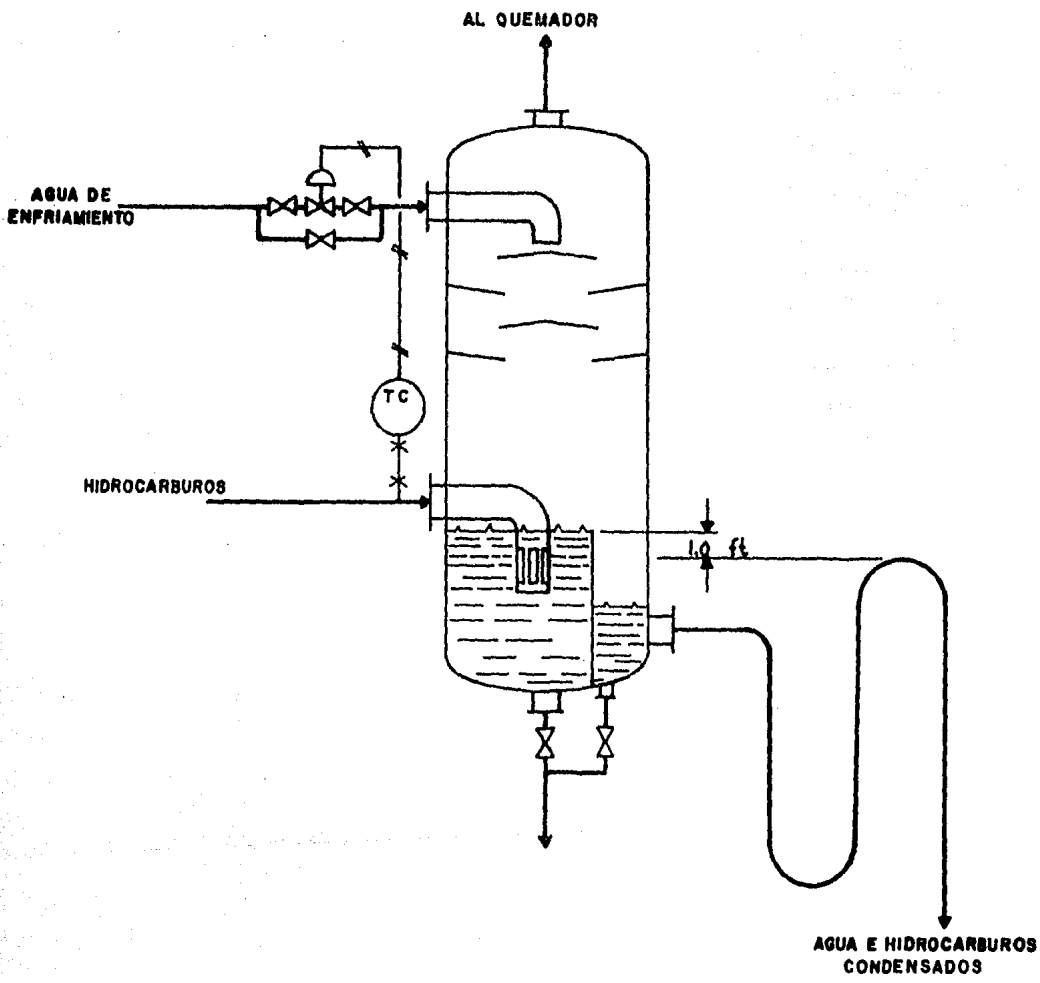
TABLERO DE IGNICION



ESQUEMA No. 7A



ESQUEMA No 7B TABLERO DE IGNICION CON INDICADORES
A FALLA DE FLAMA EN LOS PILOTOS



ESQUEMA No. 8 SEPARADOR DE CONDENSADOS

baja presión en localidades con pocas restricciones ambientales. Algunas boquillas de este tipo tienen dispositivos especiales para tener una operación sin humo, tal es el caso de deflectores de viento y de vórtices para inyección de vapor e inspiración de aire; y para mantener una flama estable se les instala un anillo de retención de flama, que logra mantener la flama alta en la boquilla aun cuando la velocidad del gas sea muy alta. Las boquillas de tubo se construyen generalmente con acero inoxidable, y van recubiertas en su parte interior de algún material refractario, o de cerámica, y en la parte exterior se les adaptan ciertos deflectores o "para-vientos", que previenen que la flama se incline a los costados de la boquilla.

Ver esquema No. 9

2° De tubos múltiples.

En este tipo de boquilla, la corriente de gas se divide y pasa por una serie de pequeños tubos o "jets", con alta velocidad, inspira gran cantidad del aire primario y se obtienen flamas separadas de la boquilla, con poco humo, y además, las flamas de los "jets" exteriores dan un efecto protector, pues tapan la radiación proveniente de las flamas de los "jets" internos. Se utilizan para gas con alta presión, hasta de 75psig., pero son costosas y se produce mucho ruido.

Ver esquema No. 10.

3° Boquilla de "tulipán".

Esta boquilla utiliza el principio de adhesión de superficie conocido como efecto 'Coanda', en el que el gas de alta presión sale por una estrecha ranura anular. La ranura es un espacio anular formado entre un tubo y una pieza metálica central con forma de "tulipán"; así que el gas forma un cilindro hueco. Este efecto introduce el aire necesario y da la turbulencia adecuada para tener una combustión completa.

ANILLO DE
RETENSION
DE FLAMA

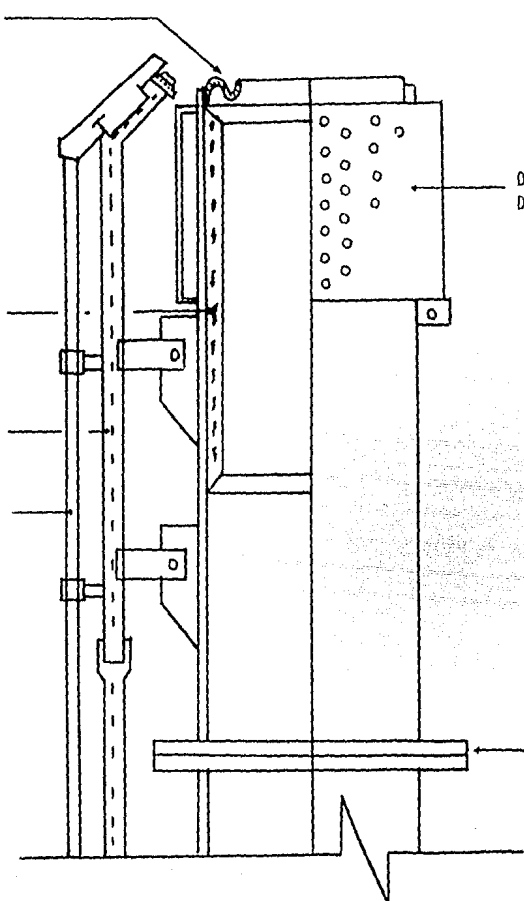
MATERIAL
REFRACTARIO

PILOTO

GENERADOR
DE FLAMA

DEFLECTOR
DE VIENTO

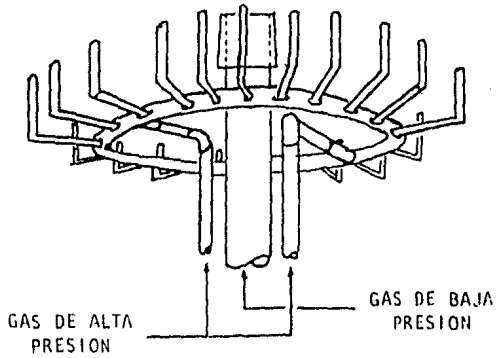
BRIDA



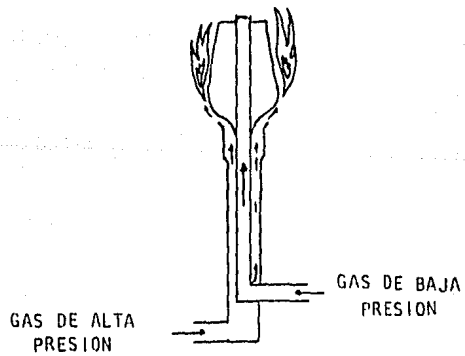
BOQUILLA DE TIPO TURCO

ESQUEMA No. 9

BOQUILLAS PARA QUEHADOR ELEVADO



BOQUILLA DE TUBOS MULTIPLES, CON
BOQUILLA DE TUBO EN EL CENTRO



BOQUILLA DE TULIPAN

La llama se inicia en el diámetro máximo del "tulipan". El gas de alta presión lleva de 5 a 80psig., y se quemasin humear con una llama muy aireada y turbulenta de menor tamaño que en la boquilla de tubo pero mayor nivel de ruido. Puede tener un conducto central por donde emana gas de baja presión, pero la relación en peso del gas de baja presión a gas de alta presión es de 1:3 para una operación sin humo . El flujo mínimo que consume como gas de purga, se rige por las presiones de operación, pero resulta ser de un a 6 a 10% del flujo máximo manejado y por esta razón no es recomendable para flujo intermitente.

Ver esquema No. 10.

3.4.4. SELLOS DE GAS PARA QUEMADOR ELEVADO.

Cuando el flujo de gas a través del sistema es muy bajo, puede entrar aire por la boquilla y difundirse hacia dentro del sistema. Esto sucede especialmente cuando la densidad del gas es menor que el valor de densidad del aire. Esta situación es muy riesgosa, pues pueden formarse mezclas explosivas, o bien puede suceder una retrospección de flama que daña todo el sistema de desfogue.

Para prevenir esto, una cantidad mínima de gas de purga o barrido se utiliza para mantener una presión positiva y un flujo continuo que evite la entrada del aire. Puede usarse gas natural, gas inerte, nitrógeno, o cualquier otro gas combustible dependiendo de la disponibilidad y costo.

El gasto del gas de purga se incrementa cuando la velocidad del viento aumenta. Reed (2) recomienda una velocidad mínima del gas de purga de 3 Ft/s para proteger un quemador de 200 Ft. de altura, en que estima una velocidad del viento de 20 mph.

Existen sellos que se instalan en la base de la boquilla del quemador, que previenen estas situaciones, pues dificultan la entrada de aire. Hay de tres tipos: (Referencia No. 3)

- a) Molecular
- b) De laberinto
- c) Flúidico

Ver esquema No. 11.

3.4.5. SELLO LIQUIDO

El sello líquido generalmente consiste de una trampa construida dentro de la base del quemador o entre la línea de desfogue y la conexión de entrada al quemador.

Son diseñados para estar llenos de agua y así prevenir una retrosección de flama hacia los cabezales de desfogue, y además mantiene una presión positiva de los cabezales de desfogue.

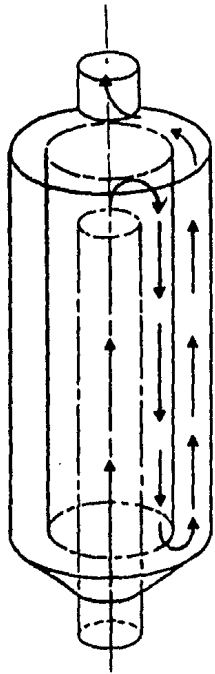
En condiciones de bajo flujo pueden ocasionar ciertas pulsaciones de gas hacia el quemador, y también durante grandes relevos de gas puede perderse el sello de agua, que después debe ser reestablecido .

Para el caso de gases amargos debe considerarse que habrá alta corrosión en el sello, y que es recomendable cambiar o reponer continuamente el líquido del sello.

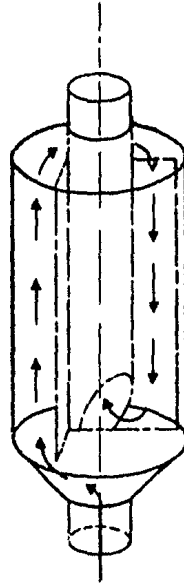
El problema de pulsaciones en un recipiente de sello puede ser minimizado por el uso de una terminación de la tubería sumergida en forma de picos , de manera que se dá un incremento al área de flujo en tanto que el flujo de gas se incrementa.

Ver el esquema No. 12 .

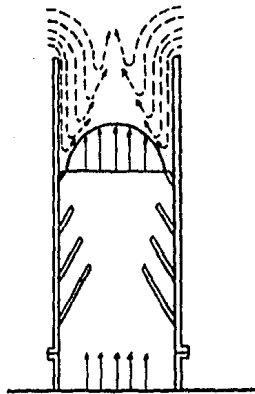
Cuando el gas relevado o el gas de barrido del sistema, sean de un peso molecular menor al peso molecular del aire, se requerirá instalar un sello líquido justamente antes del quemador, para prevenir que si hay penetración de aire por el quemador y sucede una retrosección de flama, el sistema de desfogue quedará separado y protegido.



SELLO MOLECULAR

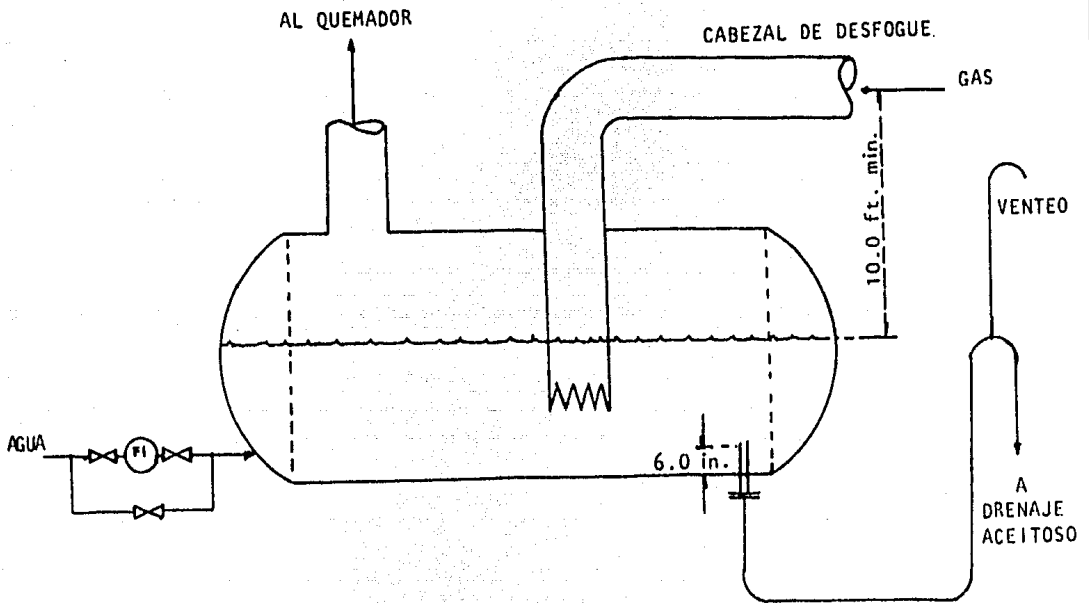


SELLO DE LABERINTO



SELLO FLUIDICO

ESQUEMA No. II SELLOS DE GAS PARA QUEMADOR ELEVADO



SELLO LIQUIDO

ESQUEMA No. 12

En este capítulo se exponen las bases de diseño y los criterios para el dimensionamiento de quemadores, sin considerar el dimensionamiento o diseño de los accesorios, ni de sistemas auxiliares.

Se describen los principales métodos de cálculo para Quemador Elevado, del cual se determinan el diámetro de la boquilla y la altura. De los diferentes métodos, se muestra una tabla comparativa, donde se pueden apreciar las diferencias más importantes, además se aplican a un mismo ejemplo numérico, del cual se presenta una tabla de resultados y se concluye cual método es el más apropiado.

Se presenta un modelo para estimar la concentración de gases al nivel de piso terminado, tomando en consideración la dispersión de gases en la atmósfera y los diferentes factores como el viento, la velocidad de descarga y la estabilidad de la atmósfera.

Finalmente se tratan los lineamientos generales para el dimensionamiento de un Quemador de Fosa.

4.1. DIMENSIONAMIENTO DE QUEMADOR ELEVADO.

El dimensionamiento de un Quemador Elevado comprende principalmente dos puntos de importancia :

- 1o. Determinar el tipo y el diámetro de la boquilla del quemador.
- 2o. Calcular la altura requerida del quemador.

Para determinar el diámetro de la boquilla se hacen consideraciones de flujo de fluidos, más específicamente de flujo de gases a altas velocidades (sección 4.1.1.), en tanto, para calcular la altura requerida del quemador, se hacen consideraciones de transferencia de calor, como Radiación Térmica (sección 4.1.2.), y también se hacen consideraciones de transferencia de masa, al estimar la concentración de gases tóxicos que puede presentarse al nivel de piso terminado o bien en cierto punto de referencia (sección 4.2.).

Para determinar las bases de cálculo de un Quemador Elevado es necesario tener presente los siguientes factores de importancia :

- 1.- El tipo de fluido relevado, considerando si contiene sustancias corrosivas o tóxicas.
- 2.- La localización del quemador en relación a sus vecindades y a la dirección de los vientos dominantes, considerando especialmente si habrá personal cercano cuando suceda el relevo y si puede encontrar refugio.
- 3.- La estimación de la frecuencia y la duración del relevo en las condiciones más críticas.

Es importante determinar un área de seguridad alrededor del quemador, en que se tomarán medidas de seguridad para el acceso, para esto se determinará un perfil de radiación térmica en función a la dis-

tancia a la base del quemador, además se estimará la concentración de gases tóxicos en esta zona para tomar las medidas de seguridad necesarias.

4.1.1 BOQUILLA DEL QUEMADOR ELEVADO.

Se considerarán las siguientes bases de diseño para la boquilla :

- 1o. No hay condensados en la corriente de gas.
- 2o. Se trata de una boquilla tipo tubo, con anillo de retención de flama. El dimensionamiento de otros tipos de boquilla es de responsabilidad del fabricante.
- 3o. El flujo de gas es continuo, con las características siguientes:
 - Flujo máximo : No. de Mach = 0.5
 - Flujo normal : No. de Mach = 0.2 a 0.4
 - Flujo mínimo : gas de purga o de barrido, que será el necesario para mantener una velocidad mínima de 3.0 ft/s en la boquilla.
- 4o. Se mantiene la operación del quemador aun en condiciones climatológicas adversas, por fuerte viento, o por lluvia.

El número de Mach se define como la relación existente entre la velocidad del gas y la velocidad del sonido en ese gas en las mismas condiciones de temperatura y de presión.

Para una boquilla tipo tubo, con anillo de retención de flama y con los pilotos de encendido adecuados se recomienda un dimensionamiento con un número de Mach de 0.5 para el flujo máximo, sin embargo los fabricantes de quemadores consideran que para un flujo pico, de poca frecuencia y de corta duración se puede operar el quemador con un nú-

mero de Mach de hasta 0.8 (máximo). Las boquillas de tubos multiples y de tipo "tulipan" pueden operar con un número de Mach de hasta 1.0, es decir que el gas fluye a velocidad sónica en la boquilla, es por esto que producen mas ruido. Para la condición normal de flujo, que se presentará con mas frecuencia, es recomendable tener una operación sin humo y con un número de Mach de 0.2 en promedio.

La ecuación que relaciona la velocidad del gas, expresada como número de Mach, con el flujo, el diámetro de la boquilla y las características del gas es :

$$\text{No. de Mach} = 1.702 \times 10^{-5} \frac{W}{P_t d^2} \left(\frac{T}{k M} \right)^{1/2} \quad (1)$$

referencia (1) .

donde

W : flujo de gas, en lb/hr .

P_t : presión del gas justamente en la boquilla, en lb/in² abs.

d : diámetro de la boquilla, en ft.

T : temperatura absoluta del gas, en °R

k : relación de calores especificos (C_p/C_v)

M : peso molecular del gas.

La ecuación anterior se obtiene de las ecuaciones siguientes :

$$Ma = \frac{V}{V_s} \quad (\text{número de Mach}).$$

$$V_s = \sqrt{k \epsilon_c \frac{R T}{M}} \quad (\text{velocidad sónica}) \quad (\text{Ref. No. 4})$$

$$V = \frac{(ACFS)}{A}$$

$$(ACFS) = \frac{W R T}{M P_t} \left(\frac{1}{3600} \right)$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Ma : número de Mach

V : velocidad del gas en la boquilla, en ft/s .

V_s : velocidad sónica del gas, en ft/s .

(ACFS) : flujo actual de gas (volumétrico) a las condiciones existentes en la boquilla, en ft³/s .

A : área transversal interna de la boquilla, en ft² .

El Instituto Americano del Petróleo recomienda utilizar un valor de 2.0 psig como presión terminal de la boquilla (P_t). (Ref. No. 1)

Cuando el gas fluye en pequeñas cantidades y sale de la boquilla a muy baja velocidad, puede ocasionar daños en la parte externa de la boquilla, porque se provoca una zona de baja presión en la parte opuesta al viento y esto dirige los gases de combustión hacia abajo, originando una alta temperatura del material donde habrá corrosión fuerte, no obstante que se utilizan materiales muy resistentes como el acero inoxidable .

La presión terminal en la boquilla (P_t) es una variable que depende del flujo de gas y de propiedades del gas, así que se propone aplicar el concepto de presión de estancamiento para evaluar, en una forma más precisa y variable, a la presión terminal de la boquilla ; de manera que no se considerará el valor constante recomendado de 2.0 psig.

Para esto se presentan las siguientes explicaciones :

La boquilla del quemador tiene una pequeña disminución del diámetro por la presencia del anillo de retención de flama, esto funciona como una cierta restricción para el flujo de gas, así que la boquilla se puede representar como un orificio convergente .

En la boquilla fluye el gas con cierta presión dinámica, en tanto en el exterior existe aire a presión atmosférica, de manera que se considera que en la boquilla sucede una conversión de energía de presión a energía cinética y en trabajo de expansión. Se puede expresar el trabajo de expansión como un cambio de entalpia. La ecuación de conservación de energía (por unidad de masa) se plantea de la siguiente forma :

(Referencia No. 4)

$$h + \frac{1}{2}v^2 = \text{Constante} \quad (a)$$

Suponiendo que se trata de un flujo ideal, en que no hay cambio de entropía, entonces la entalpia del gas es una función lineal de la temperatura, y se puede expresar la energía total en forma de energía térmica o entalpia a la temperatura de "estancamiento".

La temperatura de "estancamiento" es la temperatura que las partículas del fluido alcanzarían si fueran puestas en reposo isoentrópicamente.

La expresión de conservación de energía, incluyendo la temperatura de estancamiento es la siguiente :

(Referencia No. 4)

$$C_p T + \frac{1}{2}v^2 = C_p T_e$$

donde T_e es la temperatura de "estancamiento" ,

C_p es la capacidad calorífica ,

T es la temperatura del gas ,

v es la velocidad del gas en el interior de la boquilla.

Para un gas ideal se cumple la siguiente función :

$$R = C_p - C_v$$

la constante adiabática k se define por la expresión

$$k = C_p / C_v$$

sustituyendo,

$$C_p = R \left(\frac{k}{k-1} \right)$$

utilizando la definición de número de Mach , en la forma :

$$V = Ma V_s$$

sustituyendo las ecuaciones anteriores en la ecuación b , y se resuelve para obtener la temperatura de "estancamiento" :

$$T_e = \frac{(k-1)}{R k} \left[\frac{k R T}{(k-1)} + \frac{1}{2} Ma^2 V_s^2 \right] \quad (c)$$

dentro del marco de este análisis, la velocidad sónica se expresará de la siguiente forma :

$$V_s^2 = k R T$$

se sustituye en la ecuación(c):

$$T_e = \frac{(k-1)}{k R} \left[\frac{k R T}{(k-1)} + \frac{1}{2} Ma^2 k R T \right]$$

simplificando :

$$T_e = T \left[1 + \frac{1}{2} Ma^2 (k-1) \right] \quad (d)$$

(Ref. No. 4)

Es necesario ahora, expresar la expresión anterior en términos de presión, haciendo la consideración de la condición isoentrópica ,

así, la relación de presión y temperatura se rige por la siguiente expresión :

$$\frac{P}{T^{k/(k-1)}} = \text{Constante} \quad (e)$$

que para este desarrollo, se plantea de la siguiente forma :

$$\frac{T_e}{T} = \left(\frac{P_a}{P} \right)^{((k-1)/k)}$$

sustituyendo en la ecuación (d), se tiene :

$$\left(\frac{P_e}{P} \right)^{((k-1)/k)} = 1 + \frac{(k-1)}{2} Ma^2 \quad (f)$$

resolviendo para P_e , tenemos la expresión final :

$$P_e = P \left[1 + \frac{(k-1)}{2} Ma^2 \right]^{k/(k-1)} \quad (g)$$

(Ref. No. 4)

donde P_e es la presión de "estancamiento", que se define como el valor de presión que las partículas del fluido adquirirían si fueran puestas en reposo de una manera isentrópica. Esta relación puede ser utilizada para estimar la presión de la corriente de gas en la boquilla del quemador, con la presente restricción de que es aplicable únicamente a flujo sónico y flujo subsónico, es decir, para valores de número de Mach menores o iguales a 1.0.

En resumen, para determinar el diámetro de la boquilla, se propone el siguiente procedimiento :

1o. Conociendo las propiedades del gas, se calcula la velocidad sónica y de acuerdo al número de Mach máximo estipulado en las bases de diseño se calculan la velocidad máxima y la presión de la boquilla :

$$V_s = 223 \sqrt{\frac{k T}{M}} \quad (\text{velocidad sónica, Ref. No. 1})$$

$$V_{\text{max}} = (Ma)_* V_s$$

$$P_{tip} = P_{atm} \left[1 + \frac{k-1}{2} Ma^2 \right]^{\frac{k}{k-1}}$$

20. Se calculan el flujo volumétrico, el área y el diámetro :

$$ACFS = \frac{W R T}{M P_{tip}} \left(\frac{1}{3600} \right) \quad (\text{en Ft}^3/\text{s})$$

$$A = \frac{(ACFS)}{V_{max}} \quad (\text{en Ft}^2)$$

$$d = 12 * \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (\text{en pulg.})$$

30. Se selecciona la boquilla comercial con diámetro igual o el inmediato superior.

40. El diámetro de boquilla seleccionado difiere del diámetro calculado, así que se vuelven a estimar el número de Mach y la presión de la boquilla, mediante un método iterativo por prueba y error :

A. Se calcula la velocidad :

$$V = \frac{(ACFS)}{A_b}$$

(A_b es el área de sección transversal de la boquilla, en Ft^2)

B. Se calcula el No. de Mach :

$$Ma_n = \frac{V}{c}$$

C. Se calcula la presión de la boquilla :

$$P_{tip} = P_{atm} \left[1 + \frac{k-1}{2} Ma^2 \right]^{\frac{k}{k-1}}$$

D. Se calcula (ACFS) para este valor de presión :

$$ACFS = \frac{W R T}{M P_{tip}} \left(\frac{1}{3600} \right)$$

E. Se vuelve a calcular la velocidad y el número de Mach, y se prueba si hay convergencia :

$$\left| Ma_{n+1} - Ma_n \right| \leq 0.001 \rightarrow \boxed{\text{Convergencia}}$$

si no hay convergencia, se repite el procedimiento.

Obteniendo convergencia, quedan determinados el diámetro, la velocidad, el número de Mach y la presión de la boquilla.

4.1.2 DETERMINACION DE LA ALTURA DE UN QUEMADOR ELEVADO.

Para determinar las bases para el cálculo de la Altura de un Quemador Elevado se deben considerar los siguientes factores :

- 1.- el tipo de fluido relevado, por la posible presencia de sustancias tóxicas.
- 2.- lo que se encuentre localizado cerca del quemador, ya sea junto a la base del quemador, o en el punto más crítico cercano por el equipo ubicado o el personal presente durante el relevo.
- 3.- la estimación de la frecuencia de las situaciones de emergencia y la duración del relevo.

Tendrán diferentes bases de cálculo, por ejemplo, un quemador en una planta localizada dentro de una ciudad, a un quemador de una planta fuera de la ciudad, o de un quemador para una plataforma marina.

Las Bases de Cálculo son las siguientes :

- 1.- La Radiación Térmica máxima permisible en la base del quemador o en el punto de referencia .
- 2.- La concentración de sustancias tóxicas(emanadas por el quemador) en el ambiente cercano al quemador, considerando que habrá una dispersión de gases en la atmósfera, para este caso se aplicarán los puntos tratados en la parte siguiente 4.3. .

El principal modelo para estimar la radiación térmica proveniente de una flama en un medio abierto, es el que considera el punto central de la flama como fuente puntual de emisión de radiación. Existe otro modelo que considera la superficie total externa de la flama como fuente de emisión de radiación (Becker, 13).

El modelo "punto fuente" (o "point source") está más generalizado

porque sus resultados son muy cercanos a la realidad, y es más simple que el modelo de fuente superficial de radiación .

En el modelo "punto fuente" se han propuesto diversos criterios para estimar la longitud, la forma y la inclinación de la flama, y también para evaluar la fracción de calor emitida como radiación térmica o emisividad , de los cuales , los principales autores son :

1. Instituto Americano del Petróleo · A.P.I. (Ref. 1 y 3)
2. Kent G. R. (Ref. 5 y 6)
3. Soen H. Tan (Ref. 7)
4. Reed R. (Ref. 2)
5. Straitz J. F. (Ref. 8 y 9)
6. Brzustowski T. A. (Ref. 11 y 12)

A continuación se dá una breve descripción de los más importantes.

4.1.2.A Método propuesto por el Instituto Americano del Petróleo (API)

Para estimar la longitud de flama se propone una correlación en función del calor total liberado por la combustión :

$$L = 0.004 \cdot Q^{\frac{1}{2}} \quad (1A)$$

$$Q = (NHV)(SCFH) \quad (2A)$$

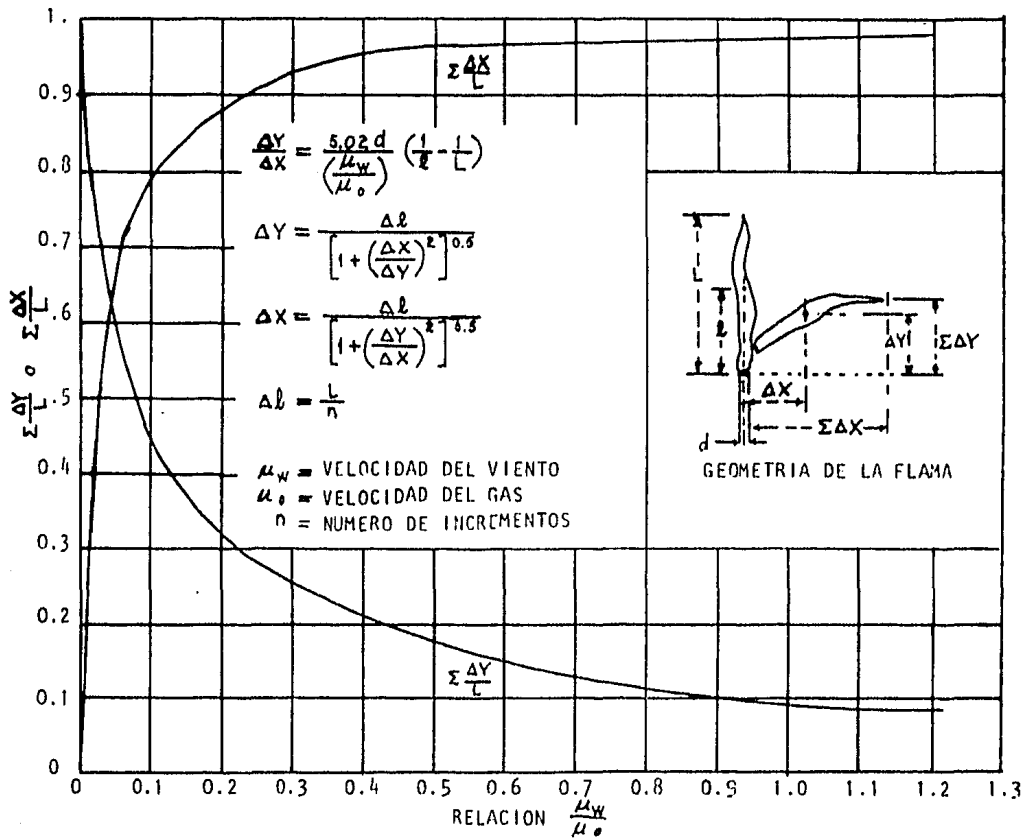
Para considerar el efecto del viento sobre la inclinación de la flama puede utilizarse la gráfica No. 3, o bien , se utilizan las ecuaciones siguientes, las cuales dan origen a dicha gráfica.

$$\Delta l = \frac{L}{n} \quad (3A)$$

$$\left(\frac{\Delta Y}{\Delta X}\right)_i = \frac{5.02 d}{\left(\frac{U}{W}\right)} \left(\frac{1}{\Delta l} - \frac{1}{L}\right) \quad (4A)$$

$$\Delta Y_i = \frac{\Delta l}{\left[1 + \left(\frac{\Delta X}{\Delta Y}\right)^2\right]^{0.5}} \quad (5A)$$

DISTORSION DE LA FLAMA DEBIDO AL VIENTO



GRAFICA No. 3

$$\Delta X_i = \frac{\Delta l}{\left[1 + \left(\frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i}\right)^2\right]^{0.5}} \quad (6A)$$

El centro de flama se localiza en las coordenadas X_c, Y_c :

$$X_c = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (7A)$$

$$Y_c = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Delta Y_i \quad (8A)$$

Donde se pueden identificar las siguientes variables :

Q : Calor de combustión total, BTU/Hr.

L : Longitud de la flama, Ft.

NHV : Valor neto calorífico del gas, BTU/Ft³ std.

SCFH : Gasto volumétrico en condiciones estándar, Ft³std./Hr

Las condiciones estándar son : 60 Grados Fahrenheit, y 14.7 Psia.

n : número de intervalos, normalmente son 10 .

U_w : Velocidad del viento, Ft/s

V : Velocidad del gas en la boquilla del quemador, Ft/s

X_c : coordenada X del centro de flama , Ft

Y_c : coordenada Y del centro de flama, Ft

d : diámetro de la boquilla del quemador, Ft

Δl : intervalo en longitud de flama, Ft

ΔX : intervalo en la dirección X, Ft

ΔY : intervalo en la dirección Y, Ft

La Radiación Térmica se estima por la ecuación :

$$q = \frac{F Q}{4 \pi D^2} \quad (9A)$$

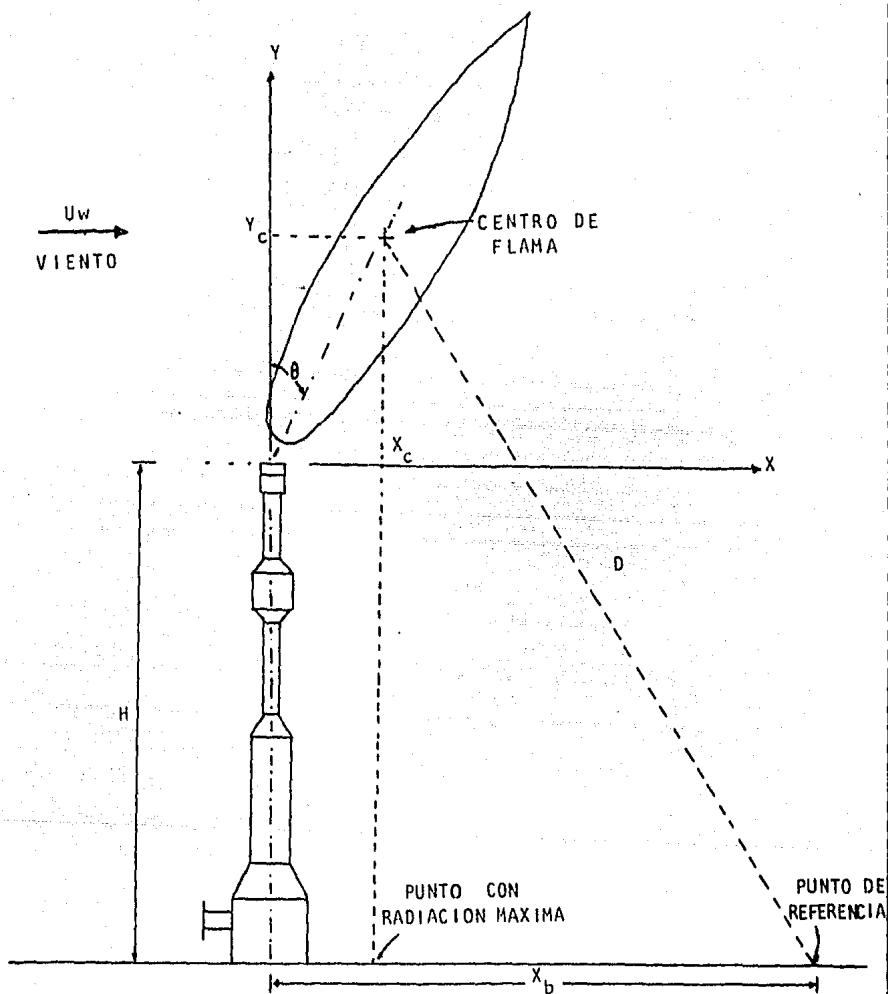
donde :

q : flux de radiación termica , $\frac{BTU}{Hr * Ft^2}$

D : distancia al punto de referencia en que se presenta ese flux de radiación térmica, en Ft.

F : fracción de calor emitido como radiación, adimensional.

En el esquema No. 13 se identifican algunas variables, y además se



ESQUEMA No. 13

QUEMADOR ELEVADO

puede^{ver} que la distancia "D" se calcula de acuerdo al teorema de Pitágoras simplemente, considerando la altura del quemador y las coordenadas del centro de flama :

$$D^2 = (X_b - X_c)^2 + (H + Y_c)^2 \quad (10A)$$

X_b es el punto de referencia.

Para considerar el factor de emisividad F , se propone que para Metano, $F=0.2$, y para hidrocarburos con peso molecular mas alto , $F=0.3$; para Hidrógeno $F=0.15$. Sin embargo, como la combustión no es continua y uniforme, se sugiere que el valor anterior de F se multiplique por un factor de 2/3 para tener un acercamiento práctico. (Ref. No. 1)

La selección del nivel de radiación térmica máxima permisible para ser utilizada en la ecuación 9A involucra las siguientes consideraciones :

- la probabilidad del relevo máximo,
- la duración de las diversas contingencias, y
- la necesidad de la actividad del personal en áreas expuestas

De lo anterior, han sido utilizados los siguientes niveles de radiación como criterios de diseño : (Referencia No. 1)

- 1.- $1500 \frac{BTU}{Hr \cdot Ft^2}$: es aceptable en áreas operativas donde el personal vistiendo ropa normal probablemente continúe sus tareas por poco tiempo, y para áreas generales donde exista protección.
- 2.- $2000 \frac{BTU}{Hr \cdot Ft^2}$: es aceptable en áreas abiertas, sin refugio disponible, y que se requiera solamente de escapar.
- 3.- $5000 \frac{BTU}{Hr \cdot Ft^2}$: es aceptable en estructuras y áreas de operación donde el personal, si esta ahí, no continuará sus tareas, y habrá disponibilidad de refugios contra la radiación térmica.

Sustituyendo la ecuación 9A en la ecuación 10A, y despejando para obtener la Altura del Quemador H, se obtiene :

$$H = \sqrt{\frac{F Q}{4 \pi q} - (x_b - x_c)^2} - Y_c \quad (11A)$$

Fijada la altura del quemador H , se procede a obtener un perfil de radiación térmica como función de la distancia a la base del quemador, utilizando la ecuación 9A , variando la distancia X_b :

$$q = \frac{F Q}{4 \pi [(x_b - x_c)^2 + (H + Y_c)^2]} \quad (12A)$$

La radiación térmica máxima se obtiene abajo del centro de flama.

Cuando la corriente de gas al quemador lleva sustancias tóxicas, se debe calcular la concentración de esas sustancias a nivel de piso, y verificar que sea menor a la concentración en que se ocasiona cualquier daño, esto se realiza en base a las ecuaciones y conceptos de la parte 4.3 que esta más adelante.

4.1.2.B Método propuesto por Soen H. Tan . (Ref. No. 7)

Se propone un procedimiento simple de cálculo para quemador elevado manejando gas a una velocidad máxima de 0.2 de número de Mach.

La ecuación simplificada para determinar el diámetro de la boquilla del quemador es :

$$d^2 = \frac{W}{1370} \sqrt{\frac{T}{M}} \quad (1B)$$

La fracción de calor emitida como radiación térmica o emisividad se puede estimar por la ecuación :

$$\epsilon = 0.048 \sqrt{M} \quad (2B)$$

El calor total generado por la combustión de hidrocarburos se expresa por:

$$Q = 20000 \cdot W \quad (3B)$$

donde se ha considerado que el valor general calorífico de los hidrocarburos es de 20000 BTU/lb .

La altura del centro de flama Y es:

$$Y = \sqrt{H(H + L)} \quad (4B)$$

donde la longitud de flama es:

$$L = 120 \cdot d \quad (5B)$$

y aplicando la ecuacion del modelo "Punto Fuente" de radiacion:

$$q = \frac{\epsilon Q}{4\pi D^2} \quad (6B)$$

donde D es la distancia del centro de flama a un punto de referencia.

El centro de flama tiene las coordenadas (0,Y), ya que el efecto del viento se considera que aunque inclina la flama, tambien proporciona cierto enfriamiento. El punto de referencia en (X,0), de manera que la distancia D es :

$$D^2 = X^2 + H(H + 120 \cdot d) \quad (7B)$$

La ecuación de radiación se puede simplificar a :

$$q = \frac{960 \cdot W \cdot M^{\frac{1}{2}}}{4\pi [X^2 + H(H + 120d)]} \quad (8B)$$

Para quemadores con inyección de vapor para suprimir el humo, se trata de mantener una relación constante entre el vapor y el bióxido de carbono producidos, así que se inyecta la cantidad necesaria unicamente, que se puede calcular por la ecuación :

$$W_{stm} = W_{Hc} \left(0.68 - \frac{10.8}{H_{Hc}} \right) \quad (9B)$$

que esta basada en una relación en peso. de vapor a hidrocarburos de 0.7.

Soen H. Tan presenta este método rápido de cálculo, y además muestra nomogramas para estimaciones preliminares, para consultar éstos ir a la referencia No. 7 de la bibliografía.

4.1.2.C. Método propuesto por T.A. Brzustowski.

En base a un trabajo experimental de laboratorio, Brzustowski propone utilizar la ecuación corregida del modelo "Punto Fuente" emisor de radiación siguiente:

$$K = \frac{F Q \cos \alpha}{4 \pi D^2} \quad (1C)$$

donde: α es el ángulo formado entre la normal de la superficie receptora y la línea recta hacia el centro de flama.

Q es el calor total producido de la combustión (BTU/Hr).

F es la fracción de calor de radiación recibida en la superficie.

D es la distancia entre el centro de flama y el punto de la superficie en que pasa la normal (Ft).

K es el flux de radiación térmica que recibe la superficie en ese punto en (BTU/Ft² Hr)

Esta ecuación se utiliza especialmente cuando se conoce la geometría de los equipos y de las estructuras cercanas al quemador.

Para otros casos en que es terreno plano o irregular, y se desconoce la geometría existente es preferible la ecuación convencional, en que:

$$\alpha = 0, \quad \cos \alpha = 1$$

$$K = \frac{F Q}{4 \pi D^2} \quad (2C)$$

La fracción de calor recibida como radiación térmica F es un parámetro que depende de varios factores:

- 1.- La forma de quemar el combustible.
- 2.- La velocidad del gas en la boquilla.
- 3.- Inyección de vapor, o supresores de humo.

F decese hasta un 20% cuando el mismo gas se quema con inyección de vapor o bien incrementando la velocidad de descarga en la boquilla del quemador. Brzustowski recomienda utilizar los valores de F reportados por

el Instituto Americano del Petróleo (API - RP - 521); pero además considera que el vapor de agua presente en la atmósfera absorbe radiación térmica en la misma longitud de onda en que el vapor de agua producto de la combustión contribuye a la radiación térmica de la flama. La absorción atmosférica disminuye K en aproximadamente un 10 al 20% en distancia de 500 pies.

Para una flama de hidrocarburos, con temperatura de 2240°F, y una atmósfera con humedad relativa mayor a 10% y a 80°F de Bulbo seco, en un rango de distancia de 100 a 500 pies, se aplica la ecuación:

$$\tau = 0.79 \left(\frac{100}{Hr} \right)^{1/6} \left(\frac{100}{D} \right)^{1/6} \quad (3C)$$

donde τ es la fracción de radiación que se transmite en la atmosfera, $(1 - \tau)$ es la fracción de radiación que absorbe la atmosfera; Hr es la humedad relativa por ciento. D es la distancia al centro de flama en Ft. Este valor de corrección por humedad lleva a la ecuación general siguiente:

$$K = \frac{\tau F Q}{4 \cdot \pi D^2} \quad (4C)$$

Para encontrar el centro de flama de donde proviene la radiación se propone un método desarrollado en base a experimentos de laboratorio con un tunel de viento, y medidas sobre los límites de flamabilidad del propio gas en combustion. Se asume que en la frontera flama - aire ambiente, el gas se ha diluido al límite pobre de flamabilidad, y que existe gas más diluido que ya no entra en combustión, ni forma parte de la flama.

La concentración de gas promedio a lo largo de la flama \bar{C}_L :

$$\bar{C}_L = C_L \frac{V}{U_w} \frac{M}{M_w} \quad (5C)$$

donde C_L es el límite inferior de flamabilidad

Parámetro adimensional sobre la distancia del eje hacia el límite pobre

si $\bar{C}_L \leq 0.5$

$$\bar{s}_L = \frac{2.04}{(\bar{C}_L)^{1.03}} \quad (6C)$$

si $\bar{C}_L > 0.5$

$$\bar{s}_L = \frac{2.51}{(\bar{C}_L)^{0.625}} \quad (7C)$$

Parámetro adimensional sobre la coordenada X, viento abajo de la boquilla
 si : $S_L > 2.35$

$$X_L = S_L - 1.65 \quad (8c)$$

si : $S_L \leq 2.35$ se resuelve la ecuación

$$1.04 X_L^2 + 2.05 (X_L)^{0.28} = S_L \quad (9c)$$

Se evalúa el parámetro adimensional de elevación de la flama (Z_L)

$$Z_L = 2.05 (X_L)^{0.28} \quad (10c)$$

Se calcula el factor R, que será utilizado al calcular el centro de flama,

$$R = \frac{V}{U} \left(\frac{\rho_g}{\rho_a} \right)^{1/2} \quad (11c)$$

donde ρ_g es la densidad del gas en las condiciones de la boquilla :

$$\rho_g = \frac{P M}{R_g T} \quad (R_g = \text{cte. de gases ideales})$$

Las coordenadas del centro de flama o punto emisor de radiación, considerando el origen (0,0) , en la boquilla del quemador son :

$$X_c = \frac{1}{2} X_L * d * R \quad (12c)$$

$$Y_c = Z_L * d * R * 0.82 \quad (13c)$$

El ángulo de inclinación de la flama se estima por :

$$\theta = \text{Arc Tan} \frac{X_c}{Y_c} \quad (14c)$$

y la estimación de la longitud de flama es :

$$L_f = d \left(\frac{5.3}{C_L} \right) * \left(\frac{M_w}{M} \right)^{1/2} \quad (15c)$$

d es diámetro en ft.

Y se aplica la ecuación de "Punto Fuente", corregida por el factor τ de la absorción de radiación debido a la humedad relativa presente de la atmósfera :

$$D^2 = \frac{\tau F Q}{4 \pi K} \quad (16c)$$

Para una persona que se encuentra cerca del quemador, trabajando, se asume que esta completamente vestida, y solamente la cara y los antebrazos están directamente expuestos a la radiación térmica. La persona esta en mo-

vimiento, así que la radiación no incide siempre en la misma parte de la piel; se está enfriando por la acción del viento y el sudor, además de que puede protegerse las partes descubiertas con su propio cuerpo cubierto por unos pocos segundos, lo que le permite soportar durante más tiempo la radiación.

Los siguientes niveles de radiación térmica son aceptables como criterio de diseño : (respecto al personal en operación) (Ref. 11)

Radiación Térmica		Tiempo Max. de Exposición
K	$\frac{\text{BTU}}{\text{Hr} \cdot \text{Ft}^2}$	Segundos
2000		20
1500		120
1000		600
500		(2 horas)

El uso de un balance de calor que considere el enfriamiento debido al viento para determinar la temperatura que alcanzan las estructuras y los equipos expuestos a la radiación térmica, es muy recomendable cuando se preve una situación riesgosa, pues aun con un valor de radiación de 1500 BTU/hr*Ft², se pueden alcanzar temperaturas hasta de 400 °F, dependiendo de las condiciones ambientales, y de las características propias de la superficie expuesta.

Se puede suponer que el flujo de viento sobre torres, tanques, recipientes, etc. es semejante al de un plato plano, y que las correlaciones de transferencia de calor en flujo turbulento pueden ser utilizadas para estimar el coeficiente de transferencia "h".

La expresión recomendable para estimar el coeficiente promedio de transferencia de calor convectivo h en flujo turbulento sobre un plato plano de longitud "L", es la siguiente : (Ref. No. 11)

$$\text{Nu}_L = 0.037 (\text{Pr})^{1/3} (\text{Re}_L)^{0.8} \quad (17C)$$

donde :

$Nu_L = \frac{h L}{k}$, es el número de Nusselt, en base a L .

L es la longitud del plato plano en el que el coeficiente de calor es h

k es la conductividad térmica del aire, en $BTU/(Hr * Ft * ^\circ F)$

$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$, es el número de Prandtl del aire, adimensional

ν es la viscosidad cinemática del aire, en Ft^2/s

α es la difusividad térmica del aire, en Ft^2/s

u es la velocidad del aire sobre la superficie, en Ft/s

Para aire seco a $80^\circ F$, $k = 0.015$, $\nu = 0.17 \times 10^{-3}$ y $Pr = 0.72$, así que la expresión para h es :

$$h = 0.52 u^{0.8} L^{-0.2} \quad (18C)$$

Si no se dispone de suficiente información respecto al aire, o a la superficie receptora , se recomienda utilizar un valor de $h = 4.0 \text{ BTU}/(Hr * Ft^2 * ^\circ F)$, para vientos de una velocidad de 10. m.p.h. , y un valor de $h = 6.0$, para vientos de 20 m.p.h. (Referencia No. 11) .

Se obtiene la relación h/ϵ_s , donde ϵ_s es la emisividad de un cuerpo gris, o fracción emitida de radiación , $(1 - \epsilon_s)$ es la fracción de radiación absorbida. La temperatura que alcanza la superficie a largo tiempo de exposición se determina mediante la gráfica No. 4 , que se muestra a continuación, o también por el siguiente procedimiento :

La superficie emite radiación a un régimen $\sigma \epsilon_s T_s^4$, donde σ es la constante de Stefan Boltzman, igual a 0.1713

El aire ambiental absorbe calor de la superficie por convección a un régimen $h * (T_s - T_\infty)$, donde T_s es la temperatura de la superficie, y T_∞ es la temperatura del aire. El sitio caliente en estudio se asume que no tiene una pérdida de calor por conducción, así se obtendrá el valor de la tempera-

tura máxima posible en ese sitio. La conducción de calor al contenido del recipiente es un transiente, es decir que la transferencia cambia en función del tiempo de exposición, pues grandes cantidades del líquido actúan como aislantes para exposiciones de corta duración, pero para un tiempo mayor de exposición, si aumenta la temperatura del líquido.

La ecuación de balance de calor se describe por :

$$\left(\begin{array}{c} \text{Radiación} \\ \text{Total} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Radiación} \\ \text{reflejada} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Radiación} \\ \text{absorbida} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Calor por convec-} \\ \text{ción al aire .} \end{array} \right)$$

$$K = (1-\epsilon_s)K + \epsilon_s \sigma \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 + h (T_s - T_\infty) \quad (19C)$$

que se reduce a :

$$K = \sigma \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 + \frac{h}{\epsilon_s} (T_s - T_\infty) \quad (20C)$$

Esta expresión ya se puede resolver para obtener la temperatura de la superficie "Ts".

Cuando no hay viento, el aire sobre la superficie se calienta por convección natural, para lo cual se obtuvo la siguiente expresión :

$$h = 0.21 (T_s - T_\infty)^{1/3}$$

que se sustituye en la ecuación 19C para obtener :

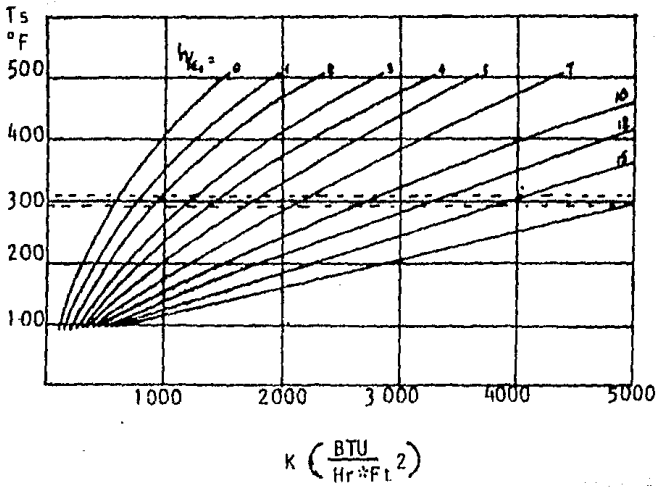
$$K = 0.1713 \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 + \frac{0.21}{\epsilon_s} (T_s - T_\infty)^{4/3}$$

Los rangos de emisividad para varios materiales son: para acero inoxidable de 0.5 a 0.7, para aluminio de 0.2 a 0.3, para hierro fundido de 0.94 a 0.97, para pintura blanca de 0.77 a 0.95 dependiendo del tipo de pintura y el tipo de estructura.

Se debe notar que el balance de calor se aplica a un estado estacionario en que las pérdidas de calor del material y de su contenido se desprecian. Para hacer un análisis más real se debería considerar un transiente de calor hacia el contenido, pero esto resulta en un complicado método que para la práctica no se justifica.

TEMPERATURA DE SUPERFICIE T_s VS FLUX DE RADIACION TERMICA K

BRZUSTOWSKI, T. A.



GRAFICA No. 4

4.1.3. Comparación de los Métodos de Cálculo de Quemador Elevado .

Tabla Comparativa de los Métodos de Cálculo.

AUTOR	LONGITUD DE FLAMA	FACTOR F o EMISIVIDAD										
A.P.I.	$L = 0.004 * Q^{1/2}$	H ₂ -- 0.15 CH ₄ -- 0.20 C _{3,n} -- 0.30										
G.R. KENT	$L = 118 * d$	$F = 0.2 \left(\frac{50 M + 100}{900} \right)^{1/2}$										
SOEN H. TAN	$L = 120 * d$	$\epsilon = 0.048 * (M)^{1/2}$										
R. REED	$L = \frac{C}{A(60000)}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>(H/C)</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>0.075</td> </tr> <tr> <td>0.33</td> <td>0.110</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>0.120</td> </tr> <tr> <td>0.17</td> <td>0.070</td> </tr> </tbody> </table>	(H/C)	F	0.5	0.075	0.33	0.110	0.25	0.120	0.17	0.070
(H/C)	F											
0.5	0.075											
0.33	0.110											
0.25	0.120											
0.17	0.070											
J. STRAITZ	$L = 10 d \left(\frac{\Delta P_{tip}}{55} \right)^{1/2}$	CH ₄ -- 0.10 C _{2,n} -- 0.12										
T.A. BRZUSTOWSKI	$L = \frac{2.3 d}{C_L} \left(\frac{M_w}{M} \right)^{1/2}$	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>H₂</td> <td>--</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>--</td> <td>0.20</td> </tr> <tr> <td>C_{3,n}</td> <td>--</td> <td>0.30</td> </tr> </tbody> </table>	H ₂	--	0.15	CH ₄	--	0.20	C _{3,n}	--	0.30	
H ₂	--	0.15										
CH ₄	--	0.20										
C _{3,n}	--	0.30										

x 7

- Q : calor generado, BTU/scf
- d : diámetro de la boquilla, pulg.
- M : peso molecular del gas relevado,
- A : área de flujo en la boquilla, ft²,
- ΔP_{tip} : caída de presión de la boquilla, en pulg. de H₂O
- M_w : peso molecular del aire, 28.96 lb/lbmol
- C_L : concentración del gas en su límite pobre de flamabilidad, (frac. mol)
- 7 : factor debido al efecto de la humedad relativa del ambiente.

APLICACION DE LOS METODOS DE CALCULO A UN EJEMPLO.

QUEMADOR ELEVADO PARA PLATAFORMA

A. DATOS :

Fluido : Gas Natural, relevado durante emergencias de corta duración.

Flujo max. = 140.0 MMSCFD

Flujo max. = 307656.4 lb/hr

Peso Molecular = 20.0

Temperatura = 60.0 °F

Coefficiente Cp/Cv = 1.3

Capacidad N. Calorífica = 1100.0 BTU/SCF

B. CARACTERISTICAS DEL AMBIENTE :

Presión Atmosférica = 14.7 psia.

Humedad Relativa % = 80.0 (min) , 100.0 (max)

Velocidad de viento = 30.0 ft/s

C. RADIACION TERMICA MAX. A LA BASE DEL QUEMADOR = 2000.0 BTU/hr.ft²

D. RADIACION TERMICA MAX. A 320.0 ft DE DISTANCIA DEL QUEMADOR Y A -
UNA ALTURA DE 35.0 ft RESPECTO A LA BASE DEL QUEMADOR = 700.0 BTU/hr.ft²

Nota : ver la Hoja de Datos y el Esquema No. 17 presentados en la parte 5.3.1.

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS DEL EJEMPLO

CARACTERISTICA	METODOS DE CALCULO				
	INST. AMERICANO DEL PETROLEO API	G.R. KENT	S.H. TAN	J.F. STRAITZ	T.A. BRZUSTOWSKI
DIAMETRO DE LA BOQUILLA pulg.	24"	36"	36"	24"	24"
No. DE MACH	0.4578	0.2106	0.2106	0.4524	0.4552
FACTOR F o EMISIVIDAD	0.20	0.2211	0.2146	0.12	0.20
LONGITUD DE LA FLAMA ft.	320.4	324.5	330.0	221.1	279.2
INCLINACION DE LA FLAMA	47.3°	6.3°	0.0	2.93°	26.3°
COORDENADAS DEL PUNTO EMISOR , Xc , Yc , en ft.	Xc=104.14 Yc = 96.13	Xc=13.09 Yc =119.22	Xc=0.0 Yc =116.03	Xc = 3.76 Yc = 73.59	Xc = 30.98 Yc = 62.60
ALTURA DEL QUEMADOR Ft.	164.0 (50)	171.0 (52)	137.4 (41.8)	101.4 (30.9)	137.8 (42.0) (mts)
RADIACION EN : BASE DEL QUEMADOR	1301.0	1304.0	1636.0	2000.0	1923.0
PUNTO (320,35)	700.0	700.0	700.0	700.0	686.4
BAJO PUNTO EMISOR (BTU/hr.ft ²)	1509.6	1357.7	1636.0	2000.0	2000.0
OBSERVACIONES	flama muy grande y muy inclinada, no considera la humedad relativa	boquilla grande, bajo No. de Mach, flama muy grande, alto valor de "F", no considera la humedad relativa		flama muy corta bajo valor de F flama poco inclinada, no considera humedad rel.	flama regular inclinacion regular considera efecto de la humedad relativa
Nota : las coordenadas de la boquilla del quemador son (0,0).				↑	METODO MAS APROPIADO

De la tabla anterior, aparentemente se puede concluir que el método de J.F. STRAITZ es el más adecuado, dado que se obtiene el cálculo del quemador más pequeño (24" de diámetro y 101.4 ft de altura), sin embargo, dicho método utiliza un factor de emisividad muy bajo (0.12), y calcula un valor de inclinación de flama muy corto (2.93°), que no parecen tener un buen fundamento teórico, y no son confiables.

Por el método de T.A. BRZUSTOWSKI se obtiene un quemador mayor (24" de diámetro y 137.8 ft. de altura), pero sus valores de emisividad de flama (0.20) y de inclinación de flama (26.3°) tienen mayor fundamento teórico en base a estudios experimentales, además que se aprecia que son mas realísticos.

Por los métodos de G.R. KENT, de S.H. TAN, y del A.P.I. se obtienen quemadores de mayores dimensiones, y por otro lado, son los primeros métodos que fueron publicados.

De lo anterior se concluye que el metodo de T.A. BRZUSTOWSKI se considera el más apropiado.

No se recomienda utilizar diferentes criterios de diferentes autores en un mismo cálculo de dimensionamiento de un quemador, porque se pueden obtener grandes errores.

4.2 DISPERSION DE GASES.

Considerando que hay una emisión de gases tóxicos a través del quemador elevado, la concentración de los mismos no debe exceder el nivel tóxico o molesto en el nivel de piso. Ya sea en la base del quemador, o en los puntos de referencia.

Se consideran los siguientes contaminantes más comunes y las concentraciones en que tienen efectos nocivos:

	Salud Humana	Bienestar
1.- Oxidos de azufre Promedio anual aritmético $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Máximo durante 24Hrs. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	115 300	85 285
2.- Monóxido de Carbono Máx. 8 Hrs. mg/m^3 Máx. 1 Hr. mg/m^3	12 58	- -
3.- Hidrocarburos Máx. 3 Hrs. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	-
4.- Oxidos de Nitrógeno Promedio máx. por 24Hrs. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	118	-

(Referencia No. 14).

Cuando la descarga de gases de emergencia ocurre rara vez, por lo que no se justifica un sistema de quemador, puede utilizarse un sistema de venteo bien dimensionado, que considerando la difusión de gases en la atmósfera, se asegure que no habrá concentraciones de gases en niveles tóxicos o flamables, en el nivel de piso terminado.

El sistema de quemador es fuente de contaminantes gaseosos, y en ocasiones sucede apagado, así que debe contar con la altura suficiente para que los gases se difundan y no ocurran concentraciones tóxicas o flamables a nivel de piso.

4.2.1 Condiciones Atmosféricas.

La dispersión atmosférica y el comportamiento de la "pluma" de gases dependen de las condiciones existentes en la atmósfera.

La atmósfera es estable o inestable dependiendo de su resistencia o disponibilidad al movimiento vertical de aire.

La estabilidad o inestabilidad atmosférica esta directamente relacionada con los gradientes de temperatura.

La temperatura de la atmósfera normalmente decrece con un incremento de altitud (6.5°C cada kilómetro).

El gradiente seco adiabático se refiere al cambio de la temperatura del aire debido al cambio de presión en aire en movimiento vertical.

Aire que se eleva y expande a capas de menor presión ocasionando una disminución en la temperatura, o bien, el aire baja y se comprime causando un incremento de temperatura. Esta característica es constante para aire seco (no saturado) con valor de 10.0°C por cada kilómetro (5.5°F cada 1000 pies).

Gradiente húmedo adiabático se refiere al caso del aire saturado que es un valor de 5.8°C por kilómetro (3.2°F cada 1000 pies), si el gradiente existente es menor que el gradiente seco adiabático el aire es estable, si es mayor, el aire es inestable

Hay varios grados de estabilidad en que el gradiente es mayor que el gradiente húmedo adiabático, pero menor que el gradiente seco adiabático.

Para estimaciones de dispersión atmosférica, la turbulencia atmosférica se ha clasificado en seis tipos: (Categorías de Pasquill).

- 1.- Extremadamente inestable (A)
- 2.- Moderadamente inestable (B)
- 3.- Ligeramente inestable (C)
- 4.- Condiciones neutrales (D)
- 5.- Ligeramente estable (E)
- 6.- Moderadamente estable (F)

Condiciones frecuentes en relación a la estabilidad del viento.

Velocidad del Viento m/s (en la superficie)	Durante el Día			Noche	
	Fuente	Insolación Moderada	Ligera	Nublado > 4/8	Nublado < 3/8
2	A	A-B	B		
2	A-B	B	C	E	F
4	B	B-C	C	D	D
5-6	C	C-D	D	D	D
6	C	D	D	D	D

La topografía del terreno tiene influencia en el clima y la estabilidad del aire.

Puede suceder una inversión en el gradiente de temperaturas cuando la temperatura del aire se incrementa con la altitud. - Una causa común de esta inversión es un enfriamiento rápido del suelo en la noche, y el aire superficial también se enfría. El resultado es un aire con gran estabilidad, en que bajo estas condiciones la pluma de gases tiende a dispersarse hacia abajo.

Se llama pluma de gases, a la nube de gases con alta concentración que tiene movimiento vertical.

4.2.2 Elevación de la Pluma.

Bajo condiciones normales la pluma se levantará encima de la boquilla de salida por su energía cinética y su energía térmica. La energía cinética es debido a la velocidad del gas; y la diferen

cia de temperatura entre la atmósfera y el gas se manifiesta en un efecto de flotación, por la diferencia de densidades.

La altura total efectiva puede ser estimada por la ecuación:

$$H_e = H + FL + \Delta H \quad (1E)$$

donde:

H_e = altura total efectiva

H_s = altura en que esta la boquilla

FL = componente vertical de la flama, (en caso de apagado, $FL = 0$) (se puede utilizar el método del API-RP 521, ya espuesto antes).

ΔH = elevación de la pluma después de la zona de combustión

Para determinar ΔH , se utiliza la ecuación de Holland:

$$\Delta H = \frac{Wd}{\mu} \left[1.5 + 2.68 \cdot 10^{-5} p \left(\frac{T_{se} - T_a}{T_{se}} \right) d \right] \quad (2E)$$

donde:

W = velocidad de descarga, en m/s

d = diámetro de la boquilla, en m

\bar{u} = velocidad del viento a esa altura, en m/s

p = presión atmosférica en milibars.

T_a = temperatura de la atmósfera, en °K

T_{se} = temperatura del gas, en °K

otras fórmulas aplicables para calcular ΔH son:

$$\Delta H = \frac{\alpha Q^{1/4}}{\mu} \quad (3E)$$

α = una constante con valor de 5700 en atmósfera neutral

Q = emisión de calor Q en megawatts

μ = velocidad del viento, en ft/s.

Variaciones de $\pm 50\%$ entre valores observados de AH, con los calculados, especialmente en condiciones adversas de viento; y ninguna de las fórmulas de elevación de plumas son aplicables uniformemente.

Cuando el quemador esta operando, la fórmula (1E) se --- aplicaría con las condiciones imaginarias en la altura $H + FL$; - así que W , la velocidad del gas, es considerablemente menor que la velocidad en la boquilla, el diámetro imaginario (d) será --- tres o más veces mayor que el diámetro de la boquilla; T_{se} , temperatura del gas después de la combustión será muy alta y mayor - que la temperatura del gas en la boquilla antes de quemarse.

Dada la complejidad en estas estimaciones y que se obtie-- nen resultados con gran porcentaje de error, la predicción de -- disposición de gases de un quemador elevado no se justifica, así - que las estimaciones se hacen considerando que el quemador esta apagado, y la elevación de la pluma puede calcularse por la ecuación de Holland (2E).

4.2.3 Concentración de Gases a Nivel de Piso.

La ecuación para calcular la concentración de gas a ni-- vel de piso, considerando la altura efectiva de emisión (H_e), es:

$$X(x, y, z, H_e) = \frac{Q}{2 \pi \sigma_y \sigma_z \mu} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] * \left[\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_e}{\sigma_z}\right)^2\right] \right]$$

donde:

(Ref. No. 14)

(4E)

- X = concentración en el punto de referencia, en g/m^3
- x = distancia viento abajo
- y = distancia desde el eje x
- z = distancia vertical encima del suelo
- Q = emisión uniforme de gas, en g/s
- σ_y = desviación estandar de la difusión de la pluma en - dirección horizontal

σ_z = desviación estandar de la difusión de la pluma en dirección vertical.

u = velocidad del viento, en m/s.

Para concentraciones calculadas al nivel de piso, se simplifica la ecuación (4E):

$$\chi(x, y, 0; H) = \frac{Q}{\sigma_y \sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (5E)$$

Para concentraciones calculadas a lo largo del centro de línea de la pluma:

$$\chi(x, 0, 0; H) = \frac{Q}{\sigma_y \sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (6E)$$

La precisión del valor medio de X así determinado es proporcional a la precisión del valor medio de velocidad de viento (u) y también depende de los coeficientes de difusión relacionados.

Los coeficientes de difusión se obtienen a partir de las gráficas Nos. 5 y 6, que están basadas en datos experimentales - con un tiempo de muestreo de 10 min.

La concentración dada anteriormente es promedio y puede ser excedida bajo ciertas condiciones. La concentración máxima es cuando: $\sigma_z = \frac{H}{\sqrt{2}}$;

$$\chi_{\max.} = \frac{2Q}{e \pi u H^2} \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y}\right) \times 10^6 \quad [=] \text{ (mg/m}^3\text{)} \quad (7E)$$

$e = 2.718$

$\gamma, \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y}\right) = 0.7$ a 1.0 como valor medio por hora, para la concentración máxima.

$X_{\max.}$ = concentración máxima en mg/m^3 ; promedio sobre 1 hr.

Q es el flujo de contaminantes (solamente) en g/s ; si se quiere obtener la concentración en p.p.m. debe utilizarse un

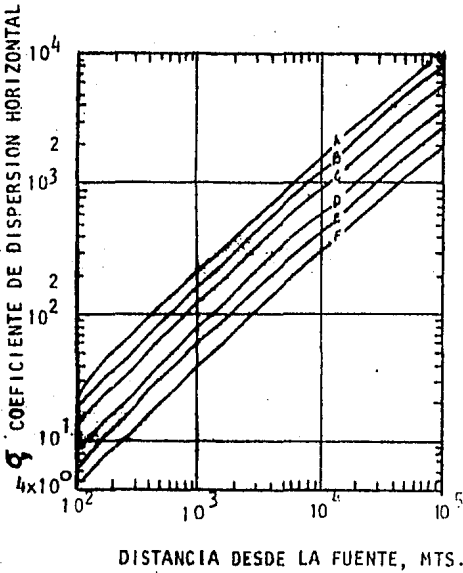
valor de Q en std. m^3/s .

La concentración máxima por 1 min., es de 5 a 10 veces la concentración máxima de 1 hora.

Los coeficientes de dispersión, O_z y O_y estan expresadas en metros como una función de la distancia viento abajo para cada una de las seis diferentes condiciones atmosféricas de Pasquill. Se obtienen de las gráficas que a continuación se presentan (Nos. 5 y 6). (Ref. No. 14)

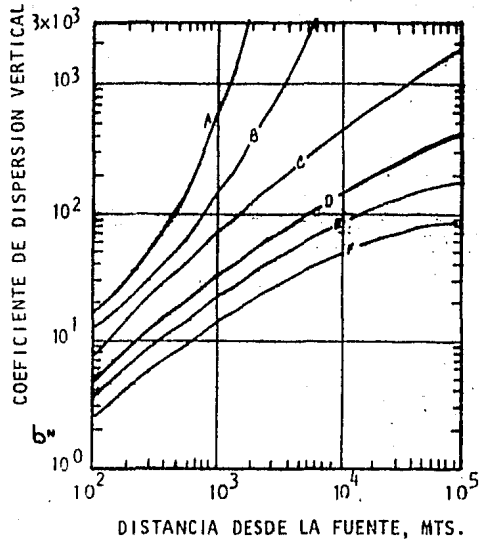
En tanto sea mayor la velocidad de descarga (w), mayor es la elevación de la pluma (ΔH), y en tanto mayor sea la velocidad de viento (u), habrá una mejor difusión de los gases, y la concentración de gases a nivel de piso, disminuye abajo del nivel tóxico.

COEFICIENTES DE DISPERSION



DISTANCIA DESDE LA FUENTE, MTS.

GRAFICA No. 5
DIFUSION LATERAL vs DISTANCIA VIENTO
ABAJO, PARA LOS TIPOS DE TURBULENCIA
DE PASQUILL.



DISTANCIA DESDE LA FUENTE, MTS.

GRAFICA No. 6
DIFUSION VERTICAL vs DISTANCIA VIENTO
ABAJO, PARA LOS TIPOS DE TURBULENCIA
DE PASQUILL.

CATEGORIA DE PASQUILL

- A- INESTABLE EXTREMADAMENTE
- B- INESTABLE MODERADO
- C- INESTABLE LIGERO
- D- NEUTRAL
- E- ESTABLE LIGERO
- F- ESTABLE MODERADO

4.3 DIMENSIONAMIENTO DE QUEMADOR DE FOSA.

El quemador de fosa sin humo se requiere para plantas dentro de ciudades o lugares en que este restringido la contaminación por humo y luminosidad. En este caso se determinará el número y diámetro de las boquillas, el arreglo, y se dimensionará una fosa o la chimenea que va a contener la flama en su interior, evitando el problema de luminosidad.

El quemador de fosa con humo se requiere en grandes plantas petroquímicas, que por su localización no esta restringida la emisión de humo, y además se aprovecharán para disponer de líquidos flamables en este quemador. Así pues la mezcla gas-líquido será suministrado a estos quemadores, de los cuales se determinará el diámetro de la boquilla, y las dimensiones de la fosa.

Las bases de cálculo y las especificaciones para este tipo de quemadores son muy particulares y resultan exclusivas a cada proyecto, por lo cual, este trabajo, se limita a presentar lineamientos muy generales a este respecto.

El tipo de quemador de fosa a seleccionar depende de la situación prevaeciente en el sitio y en la forma de operar de la planta.

Un quemador de fosa, sin humo, se recomienda para flujos relativamente bajos, ya que requiere de una área muy grande y el equipo es muy costoso.

Normalmente se prefiere un arreglo que combina el quemador de fosa sin humo con un quemador elevado, porque para un flujo pequeño procedente de emergencias ligeras frecuentes , se utiliza el quemador de fosa y durante las emergencias mayores se utilizan ambos quemadores.

Los quemadores de fosa se clasifican en:

- 1) Quemador de fosa sin humo.
 - 1.1 Tipo circular con agua espreada (Ground Flare)
 - 1.2 Con boquillas de quemado tipo Venturi (Multijet).
- 2) Quemador de fosa con humo.

Para fijar el criterio para seleccionar estas instalaciones se toma en cuenta que:

- a) El humo producido no viola las normas de contaminación locales.
- b) La operación del quemador no causa un nivel de ruido que disturbe o exceda al límite permisible (100 db).
- c) La luminosidad no causa problemas, por lo que pueden quedar localizados dentro del área de la planta; la radiación térmica se puede de limitar mediante una pared refractaria que protege al personal que se encuentre cerca

El diseño del quemador de fosa sin humo es de completa responsabilidad del fabricante, sin embargo, se presentan a continuación los siguientes lineamientos a fin de obtener un diseño preliminar.

4.3.1 Diseño de un Quemador Sin Humo, Tipo Circular con Agua Espreada "Ground Flare".

Este quemador utiliza el efecto de espreado con agua para enfriar la flama y dispersar los gases de combustión a fin de tener una combustión sin humo.

Consiste de tres chimeneas concéntricas; la chimenea interior es la cámara de combustión y contiene el quemador, el piloto y el anillo distribuidor de agua. La chimenea intermedia tiene el propósito de confinar el abanico de agua, de manera tal que se mezcle con los gases de salida. La chimenea exterior encierra la flama y la dirige hacia arriba.

Las chimeneas intermedia y exterior debe ser de suficiente tamaño para permitir el paso de 150% de la cantidad teórica - del aire requerido para la completa combustión. El tipo para las chimeneas puede ser calculado en la forma siguiente:

Tiro Teórico Inducido h_w .

$$h_w = H \left(\frac{W_e - W_h}{W_w} \right) \cdot 12 \quad (1) \text{ pulg. de H}_2\text{O}$$

donde:

- H = altura de la chimenea, pies
- W_e = densidad del aire frío lb/pie³
- W_h = densidad del aire caliente lb/pie³
- W_w = densidad del agua lb/pie³

Las áreas de arqueado de la chimenea podrán ser calculadas por la ecuación siguiente:

$$S = \frac{W}{457 C Y \sqrt{h_w \rho}}$$

donde:

- S = área de arqueado en pies
- W = flujo (lb/hr) del gas efluente
- C = coeficiente de descarga adimensional, para este tipo de quemador C = 0.6
- Y = factor de expansión, Y = 1 adimensional
- h_w = presión diferencial en pulg. de agua
- ρ = densidad del aire a 60°F

La presión del agua espreada es más importante que la cantidad de agua, pues se induce más aire hacia la flama y una mayor turbulencia.

Se requiere una mayor cantidad de agua conforme aumente el peso molecular y el contenido de hidrocarburos insaturados en el flujo de gas.

Ver esquema No. 4, del capítulo 2.

4.3.2 Diseño de Quemador de Fosa Sin Humo, con boquillas tipo Venturi, Quemador "Multijet".

Consiste de una serie de boquillas que salen de "cabezales" por donde sale el gas a alta velocidad y choca contra un rodillo retenedor de flama; ya fue descrito en la sección 3.3.2.

Líneamientos generales de diseño :

- 1.- Dependiendo de las bases de diseño, el fabricante selecciona el tipo de boquilla y el tamaño del orificio a fin de asignar un quemador sin humo.
- 2.- Usando una ecuación del orificio para flujos de gases -- compresibles determinar el área total requerida para el quemado sin humo.
- 3.- Determinar el número requerido de orificios o boquillas de quemado dividiendo el área total No. 2 entre el área de un orificio (#1).
- 4.- Determinar la configuración del quemador y estimar el -- área de la fosa, considerando una relación de longitud - al ancho de 5 a 2 como mínimo.

Los quemadores son espaciados 1 pie uno del otro.

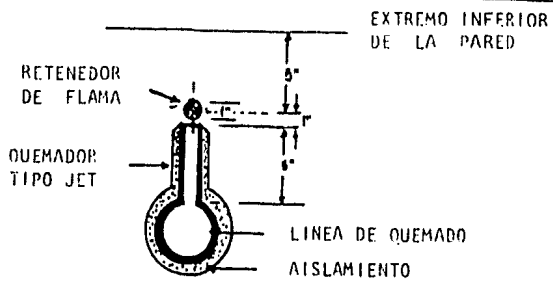
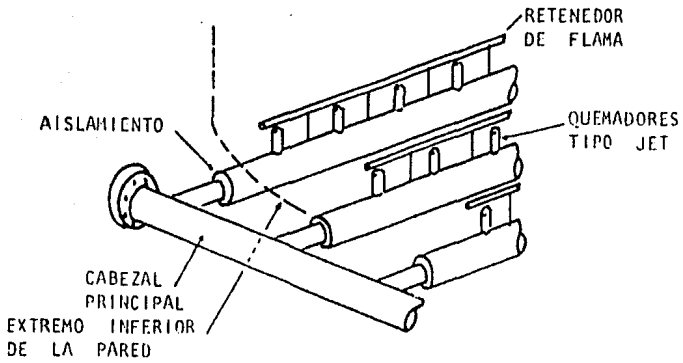
Los cabezales son separados 10 pies uno del otro, para ~~lograr~~ la mezcla adecuada gas-aire.

- 5.- Determinar el escalonamiento de presión de las válvulas, adecuado al número de quemadores.

Deberán usarse válvulas On-off a fin de sacar rápidamente de servicio etapas completas de quemado, conforme a - variaciones del flujo de gas. (Válvulas de dos posiciones, " On - Off ").

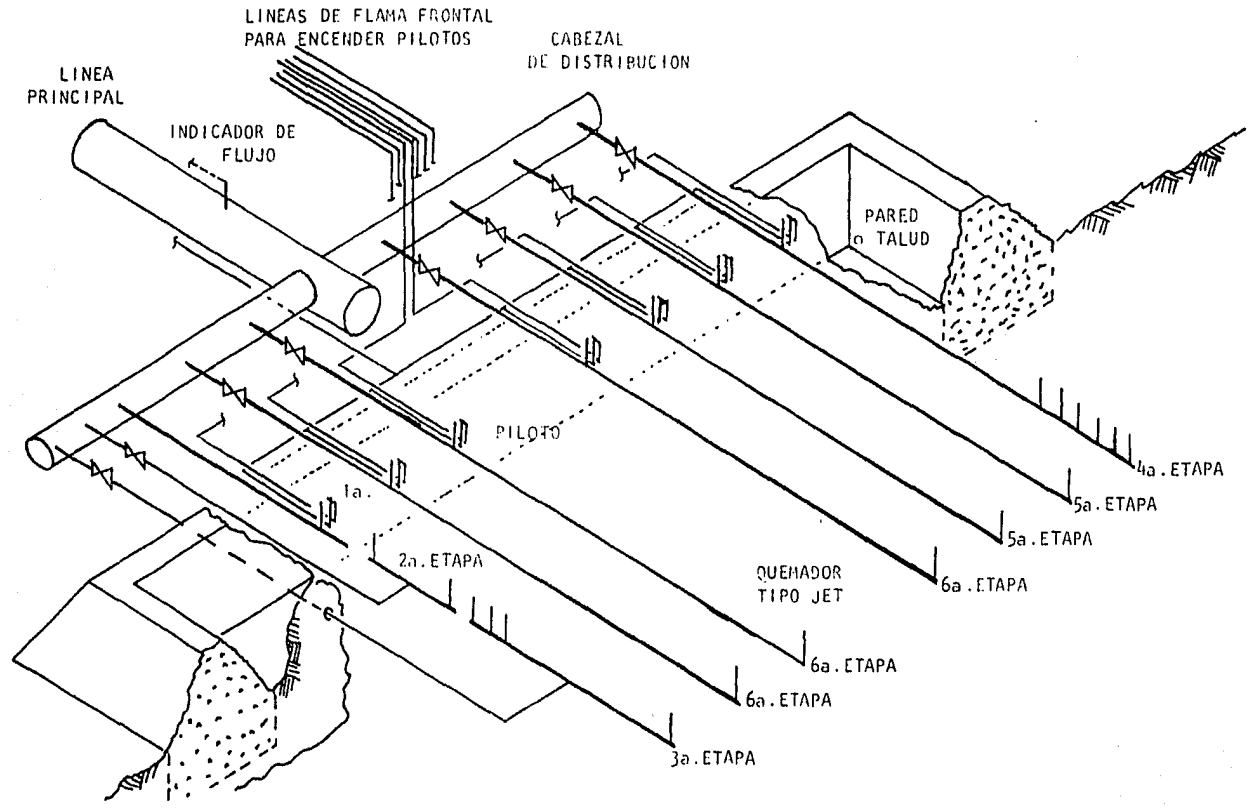
- 6.- Las etapas de quemado son escalonadas en programación geométrica para asegurar una operación suave en rangos enteros de operación.
- 7.- Determinar el diámetro de los cabezales de quemado para el número de quemadores que tendrán cada uno de ellos.
- 8.- De acuerdo al diámetro anterior seleccionar el tamaño de válvula adecuada.
- 9.- Determinar la pendiente en los cabezales y el arreglo de drenajes para líquidos entrampados.
- 10.- Checar la altura de la fosa contra la longitud de flama. La flama debe ser contenida en la fosa.
- 11.- Estimar la radiación térmica para la operación total de la fosa.
- 12.- Las paredes de la fosa deben tener un talud adecuado para prevenir deslaves, y es necesario colocar un muro de ladrillo refractario y en su parte superior se colocan láminas de asbesto. Este muro será localizado al principio de la fosa para la debida protección al personal que pueda inspeccionar las válvulas de control.
- 13.- Los cabezales de quemado deberán ser cubiertos con grava o con otro material refractario para disminuir la influencia de la radiación, y que el material no sea dañado.
- 14.- Determinar si se colocaran rodillos para retención de flama, de material refractario. Separación de la boquilla, y diámetro del rodillo (ver esquemas No. 14 y 15).
- 15.- Los materiales recomendados son:

Boquillas de quemado: Incoloy 800H



DETALLES DE UN QUEHADOR "MULTIJET"

QUEMADOR DE FOSA, SIN HUMO



ESQUEMA No. 15

Tubos elevadores: AISI 309
 Cabezal de quemado: ASTM A53 Gr. B

4.3.3 Quemador de Fosa con Humo.

Una fosa para quemar gases y condensados de desecho sin restricciones por el humo producido, puede ser dimensionado mediante las siguientes correlaciones experimentales:

a) Por longitud de flama:

1.- Para bajo viento (menor a 20 mph), la longitud de flama se estima como:

$$L_f = 120 d \sqrt{\frac{\Delta P_{tip}}{55}}$$

• Para alto viento (mayor a 20 mph).

$$L_f = 24 d \sqrt{\frac{\Delta P_{tip}}{55}}$$

ΔP_{tip} en la caída de presión en la boquilla de quemado en pulgadas de agua.

2.- El centro de flama se encuentra a 1/3 de su longitud en viento bajo, y a 1/2 de su longitud en viento alto.

$$L_{fc} = \frac{L_f}{3} \quad (\text{viento bajo})$$

$$L_{fc} = \frac{L_f}{2} \quad (\text{viento alto})$$

3.- La velocidad de salida en la boquilla, se puede estimar:

$$V_e = 550 \sqrt{\frac{\Delta P_{tip}}{55}} \quad (\text{pies/seg})$$

que debe ser congruente con la ecuación:

$$V_e = \frac{Q_v}{A}$$

Q_v : es gasto volumetrico

A : es área transversal de la boquilla.

El caso crítico es cuando el viento se opone a la velocidad de salida de los gases. El ángulo de levantamiento que tenga la flama será originado por el viento, más el ángulo propio ocasionado por la densidad del gas caliente.

El ángulo de levantamiento es:

$$\theta_0 = \text{Arc Tan } \frac{5.25}{V_e}$$

El ángulo por efecto de viento es:

$$\theta_w = \text{Arc Tan } \frac{U_w}{V_e}$$

El ángulo total es $\theta_t = \theta_0 + \theta_w$
y el centro de flama esta en las coordenadas

$$x_c = L_f \cos \theta_t$$

$$y_c = L_f \text{ Sen } \theta_t$$

La distancia R a un punto de referencia, donde se estima la radicación térmica q, es:

$$R = \sqrt{(x + x_c)^2 + (H + y_c)^2}$$

y la intensidad de radiación térmica q, recibida en dicho punto de referencia es:

$$q = \frac{\epsilon Q}{4 \pi R^2}$$

ϵ es emisividad de flama

La longitud de la fosa esta determinada por la longitud de la flama.

Para obtener el ancho de la fosa se pueden utilizar dos criterios; en base a la cantidad de gas quemado:

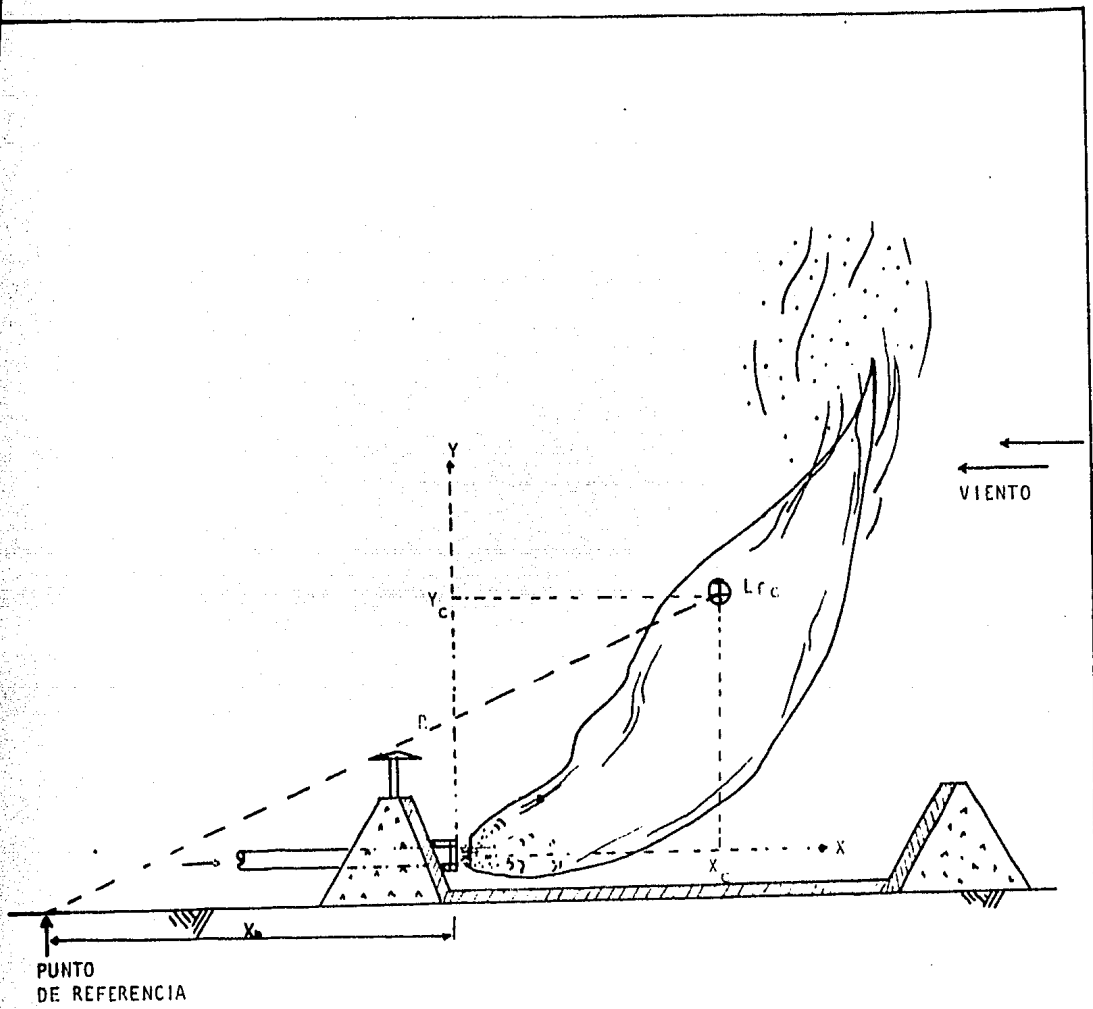
McKee: 275000 SCFD/m²

LUMMUS: 500000 SCFD/m²

Así se asegura una buena relación aire-gas, y se trata de reducir el humo.

La fosa debe ser protegida de la parte inicial con un toldo, con material refractario, y conviene la instalación de un muro de ladrillo refractario con lámina de asbesto en la parte superior, a fin de que el personal pueda en determinado momento refugiarse detrás del muro, sin recibir excesiva radiación.

Ver esquema 16.



ESQUEMA No. 16

QUEMADOR DE FOSA, CON HUMO

5. PROGRAMA DE CALCULO PARA QUEMADOR ELEVADO

En este capítulo se presentan una breve explicación al programa de cálculo para Quemador Elevado, el diagrama de flujo del programa, y el listado propio del programa de cómputo para el método de cálculo de Quemador Elevado propuesto por Brzustowski . Además, se muestra un ejemplo teórico de aplicación, con los resultados y conclusiones.

El programa sigue las bases de cálculo ya mencionadas en el capítulo 4 , sin embargo tiene la flexibilidad para poder dimensionar un quemador elevado con diferentes bases respecto al número de Mach en la boquilla y respecto al nivel de radiación térmica máxima al punto de referencia.

Mediante el programa, se puede dimensionar rápidamente un Quemador Elevado, en cuanto al Diámetro de Boquilla y su altura requerida para un límite de radiación máximo bajo el centro de flama a nivel de piso, y además se obtiene un perfil de radiación térmica en función de la distancia a la base del quemador, con flexibilidad en cuanto a la condición de humedad relativa y por el nivel de referencia. El programa se puede utilizar para simular la operación de un quemador existente, para condiciones de operación fuera de las condiciones de diseño, con objeto de obtener el número de Mach de la boquilla y el perfil de radiación térmica como función de la distancia a la base del quemador para el nivel de referencia (respecto a la posición de la base) fijado.

Se desarrollaron también los programas de cálculo de Quemado Elevado por el método del A.P.I. y por el método de J.F.Straitz, que básicamente tienen la misma estructura, pero difieren en cuanto a las estimaciones

de la longitud y forma de la flama, de las coordenadas del centro de emisión de radiación, estos programas y los métodos de Soen H. Tan, y de G.R. Kent fueron aplicados a un mismo problema en la parte 4.1.3 , donde se presentan sus resultados en la Tabla comparativa de Resultados del Ejemplo (en la cuál se muestra que el método de Brzustowski es el más apropiado), pero dichos programas no se incluyen en este trabajo.

5.1 Diagrama de Flujo .

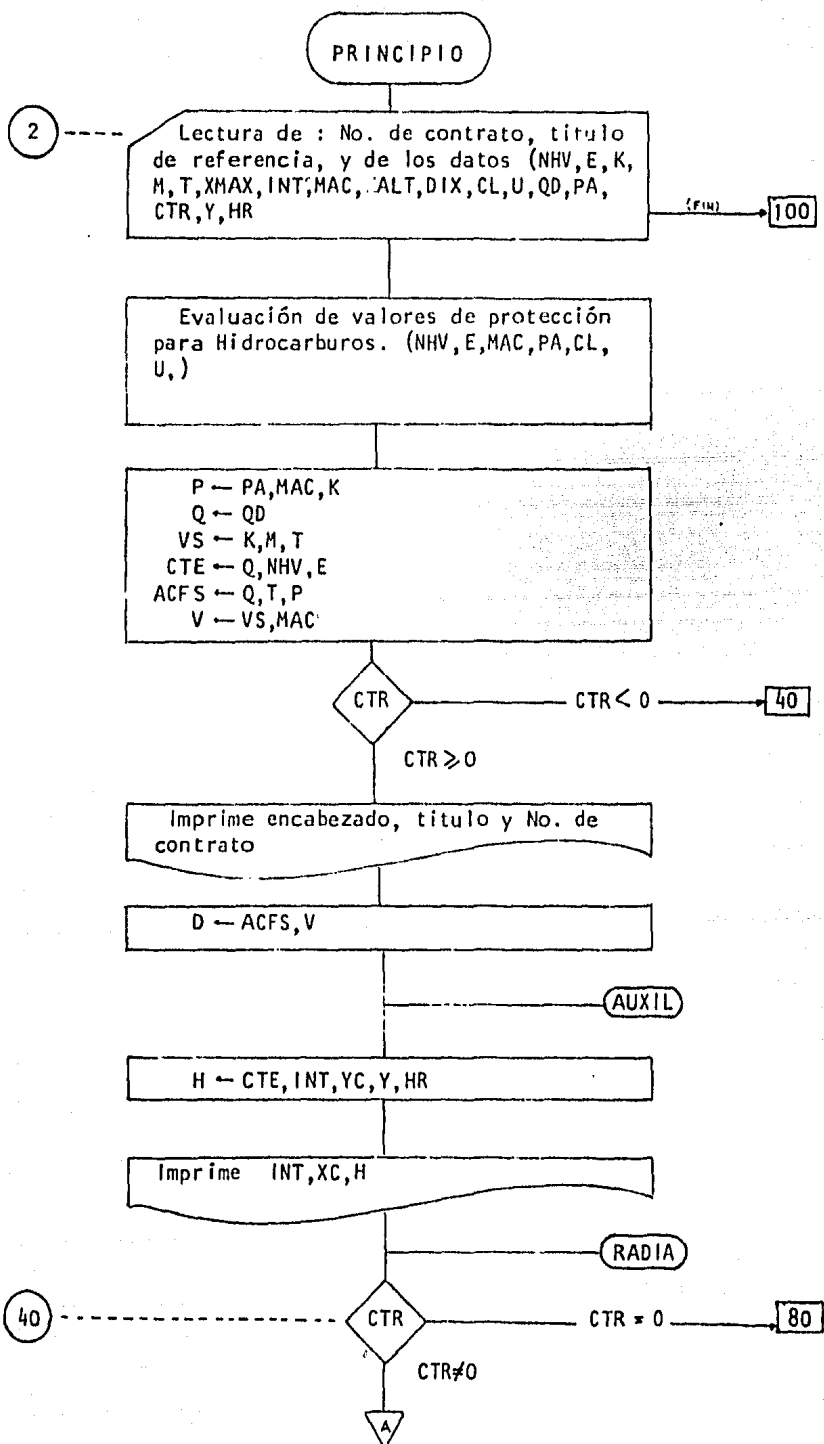
El Diagrama de Flujo es la descripción esquemática del procedimiento de cálculo que aplica la computadora al resolver un problema mediante el programa.

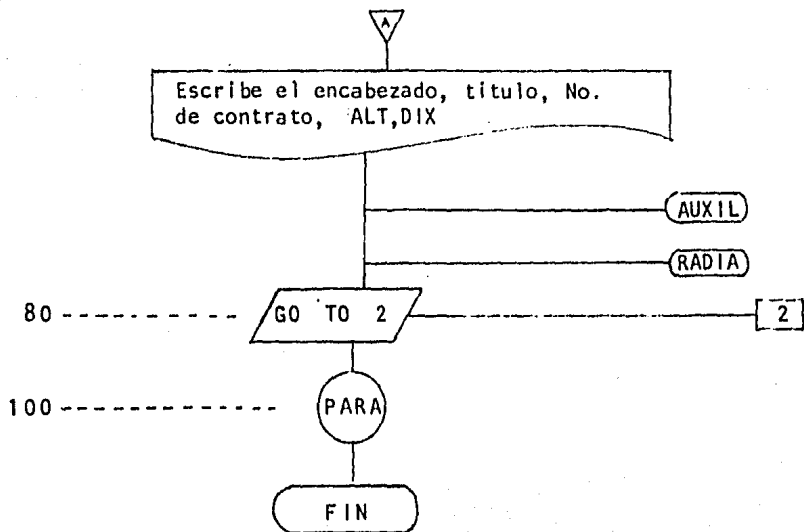
El programa esta formado por tres elementos , denominados de la siguiente forma :

- 1.- Elemento "PLOP" es el programa principal .
- 2.- Elemento "AUXIL" es la subrutina que determina: el diámetro comercial de boquilla, el No. de Mach, la presión en la boquilla, las coordenadas del centro emisor de radiación y la longitud de flama.
- 3.- Elemento "RADIA" es la subrutina que calcula el perfil de radiación térmica en función de la distancia a la base del quemador.

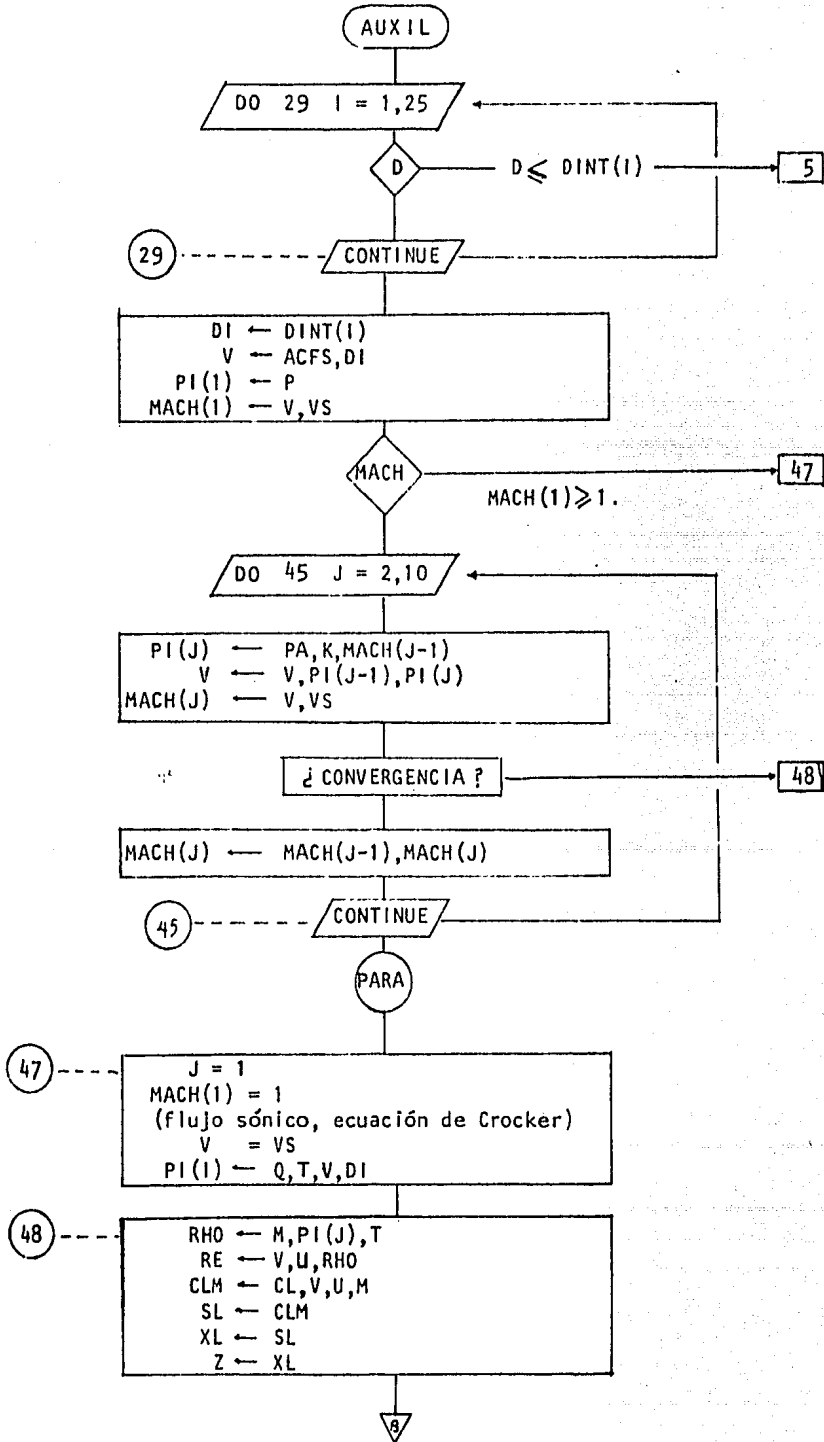
Se muestra a continuación, el Diagrama de Flujo del programa de cálculo por el método de Brzustowski, de una forma esquemática (dividido en cada uno de sus elementos) .

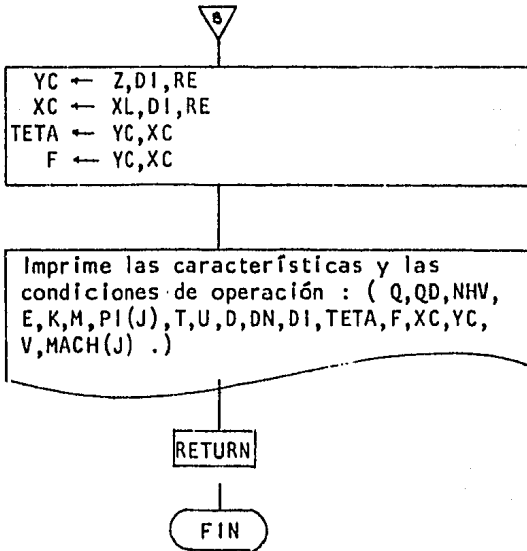
5.1.1. Programa Principal "PLOP"



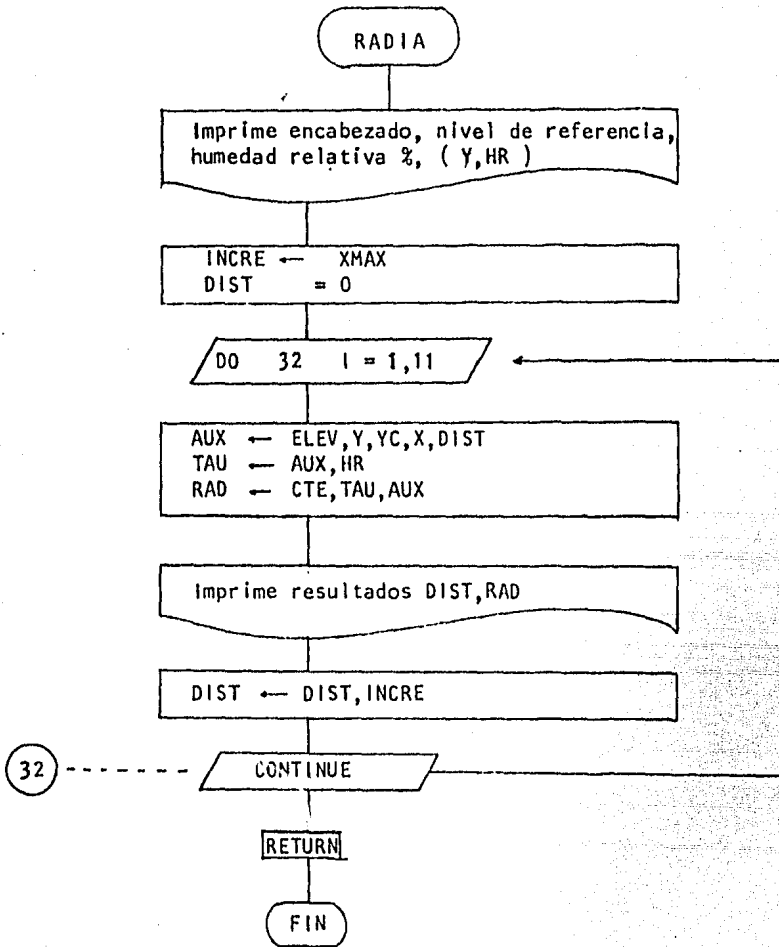


5.1.2. Subrutina "AUXIL"





5.1.3. Subrutina " RADIA "



5.2 Listado del Programa.

El Programa esta codificado en lenguaje FORTRAN V , y esta constituido por 164 instrucciones, incluyendo algunos comentarios y las instrucciones de control.

El programa principal "PLOP" consta de 72 instrucciones, la subrutina "AUXIL" tiene 70 , y la subrutina "RADIA" tiene 22 instrucciones.

Identificación de Variables .-

ICON	Número de contrato,
TIT	Titulo de referencia,
NHV	Valor neto calorifico, en $\text{BTU}/\text{ft}^3(\text{Std.})$,
E	Factor de emisividad de la flama,
K	Coefficiente C_p/C_v
M	Peso molecular,
T	Temperatura absoluta del gas, en $^{\circ}\text{R}$,
INT	Flux de radiación Térmica máxima en el nivel de referencia bajo el centro de flama, en $\text{BTU}/\text{Hr}*\text{ft}^2$,
MAC	Número de Mach máximo en la boquilla ,
XMAX	Distancia en ft. al punto más alejado donde se evaluará la radiación térmica ,
CL	Concentración de gas - aire en el límite pobre de flamabilidad ,
U	Velocidad del viento, en ft/s ,
QD	Flujo volumétrico de gas , en millones de $\text{ft}^3(\text{STD})/\text{D}$, las condiciones STD. son : 60°F , y 1.0 Atm. ,
PA	Presión Atmosférica del lugar, en $\text{lb}/\text{in}^2 \text{ abs.}$,
Y	Nivel de referencia respecto a la Base del quemador, en dirección vertical, en ft. ,
HR	Humedad relativa % del ambiente ,
CTR	Variable de control, $\text{CTR}=-1$: simulación, $\text{CTR}=0$ dimensionamiento, $\text{CTR}=1$ dimensionamiento y simulación . ,

ALT Altura de un quemador elevado , para simulación, en m. ,
 DEX Diámetro externo nominal de la boquilla del quemador, para
 simulación , en pulgadas ,
 DIX Diámetro interno de la boquilla para simulación, en pulg. ,
 P Presión en la Boquilla del Quemador, en lb/in² abs. ,
 VS Velocidad sónica del gas , en ft/s ,
 CTE Variable interna del Programa, $CTE = \frac{Q * NHV * E}{4 * \pi r}$,
 ACFS Flujo volumétrico actual de gas bajo las condiciones de la
 boquilla en ft³(act)/s ,
 V Velocidad del gas en la Boquilla, en ft/s ,
 D Diámetro mínimo de la Boquilla, en pulg. ,
 DI Diámetro real interno de la Boquilla, en pulg. ,
 DN Diámetro nominal externo de la Boquilla, en pulg. ,
 PI(J) Presión en la Boquilla , en lb/in² abs. ,
 F Longitud de flama , en ft. ,
 TETA Angulo de inclinación de la flama, en radianes ,
 XC,YC Coordenadas horizontal y vertical del centro de flama ,
 con respecto a la boquilla , en ft. ,
 MACH(J) Número de Mach en la Boquilla,
 RE,CLM,
 SL,XL,Z son variables propias del método de Brzustowski ,
 TAU Factor de corrección por humedad relativa ,
 RAD Radiación térmica en BTU/Hr*ft² , en un punto alejado -
 del quemador, sobre el nivel de referencia,
 DIST Distancia del punto a la Base del quemador, en ft. ,
 INCRE Incremento de distancia, para obtener el perfil de Radia-
 ción térmica (RAD), en función de la distancia a la base -
 del quemador (DIST) .

```

1  BFUR,IS TPF,PLDP,PLDP
2  C TESIS PROFESIONAL, UNAM, FAC. QUIMICA, CARLOS OCHOA
3  C PROGRAMA PARA DISEÑO DE QUEMADORES, MODELO PUNTO-FUENTE, FLAMA
4  C DE "CRZUSTOMSKY, T. A.", DISEÑO CON RADIACION MAX. BAJO EL CENTRO DE FLAMA
5  C ESTIMACION DEL DIAMETRO Y ALTURA DE UN QUEMADOR ELEVADO
6  C
7      REAL NHV,K,H,INT,MAC
8      DIMENSION TIT(10)
9      NAMELIST /DATOS /NHV,E,K,H,T,XMAX,INT,MAC,ALT,DIX,PL,U,QQ,PA,CTR,Y,
10     -DEX,HR
11     1 READ (5,10)ICCO,TIT
12 C *NHV EN BTU/SCF, T EN G.R., XMAX EN FT., INT EN BTU/HFT**2, ALT EN MTS.,
13 C Y DIX (DIAMETRO INTERNO) EN PULG.,
14 C * OPCIONES * SI CTR=1, SIMULA UN QUEMADOR YA DIMENSIONADO,
15 C SI CTR=0, DISEÑO ÚNICAMENTE, SI CTR=1, DISEÑO Y SIMULACION.
16 C * SE HACE CORRECCION POR HUMEDAD RELATIVA 2 HR EN LA ESTIMACION
17 C DEL PERFIL DE RADIACION CON LA VARIABLE TAU, 25-11-83, **
18     2 READ (5,DATOS,END=100)
19     IF (E.LQ(0.0)) E=0.032*CGRT(H)
20 C *L=VAL VIENTO FT/SEG., Q=CASTO POR DIA EN MMSCF/D, P EN PSIA (P>14.7)**
21     10 FORMAT(14,10A6)
22     IF (NHV.EQ.0.) NHV=50.*H*.100.
23     IF (MAC.EQ.0.) MAC=7.50
24     IF (MAC.GE.1.) MAC=0.88
25     IF (PA.EQ.0.) PA=14.7
26     IF (CL.EQ.0.) CL=0.74
27     PFA=(1.+(K-1.)/2.)*MAC*.1*(K/(K-1.))
28     C=LD/24.*E=0
29     U=SQRT(4)710.6*H*T/K)
30     CTL=C*H*H*E/12.505
31     ACFS=Q*T/(P*147361.6)
32     V=15*MAC
33     IF (CTR.LT.0.) GO TO 40
34     WRITE (6,11)TIT,ICCO
35     11 FORMAT (1H1,1H5,"UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO",/,T65,
36     *FACULTAD DE QUIMICA",/,T1,"TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL ",
37     *TITULO DE INGENIERO QUIMICO, POR CARLOS OCHOA.",/,T20,
38     *ESTIMACION DEL DIAMETRO Y ALTURA DE UN QUEMADOR ELEVADO, MODELO
39     * "CRZUSTOMSKY",/,T20X,1A6,5X,"CONTRATO",I4,/)
40     U=12.*CGRT(4.*ACFS/(2.1416*V))
41     CALL AUXEL (Q,QQ,NHV,E,K,H,PA,T,U,V,S,ACFS,D,LN,DI,CL,XC,YC)
42 C *SE CALCULA ALTURA A PARTIR DEL NIVEL DE REFERENCIA = 0.0 **
43     H=(SQRT(CTL/INT)-YC*Y)*C.3.5
44 C * SE HACE CORRECCION POR HUMEDAD RELATIVA PARA LA ESTIMACION DE
45 C ALTURA EN EL CASO DE HR.NE., QUE DEBE COMPROBARSE CON LA TABLA
46 C DE RADIACION TERMICA **
47     IF (HR.EQ.0.) GO TO 20
48     AUX=(H/0.335)**.3*YC-Y
49 C AUX ES LA DISTANCIA SUPUESTA DESDE EL PUNTO DE REFERENCIA AL CENTRO
50 C DE FLAMA, TAU ES EL FACTOR DE CORRECCION POR HUMEDAD **
51     TAU=C*(1000./HR/AUX)**0.625
52     H=(SQRT(CTL*TAU/INT)-YC*Y)*C.3.5
53     20 IF (H.LT.0.) H=0
54     WRITE (6,13)INT,XC,H
55     13 FORMAT (1,20X,"RADIACION MAXIMA (BTU/HF (**)=" ,F7.2,/,31X," A UNA
56     - DISTANCIA DE LA BASE DEL FLARE (FT) =" ,F7.2,/,31X,"
57     - ALTURA DEL FLARE (MTS) =" ,F7.2,/)
58     CALL RADIA (H,CTE,NC,YC,XMAX,Y,HR)
59     40 IF (CTR.EQ.0.) GO TO 10
60     PFA=(1.+(K-1.)/2.)*MAC*(K/(K-1.))

```

```

62 ACES=0.717492730700
63 WRITE (6,41) TIT,ICO,ALY,DEX
64 4. FORMAT(3H,745,'UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO',/7,65,
65 *'FACULTAD DE QUIMICA',/7,70,'TESIS PROFESIONAL',/7,70,10A,5X,
66 *'CENTRAIG',/14,7,72,'SELECCIONADO DE QUEMADOR DE ALTURA M.',/7,7
67 *',/7,72,'CON DOBULLA (PULC) =',/7,7,7,72,'*2MULACION MOD. * BF705
68 -TOLSKI',/7,7)
68 CALL AUXILIO,CO,MHV,E,K,M,P,PI,T,U,V,ACFS,DI,DI,DI,CL,XC,YC)
69 CALL RAJLA (ALT,CTE,XC,YC,MAX,Y,HI)
70 GO TO 1
71 1.3 STOP
72 ENL
73 3FOR,IS TPF5,AUXILIO,AJXIL
74 SERROUTINE AUXILIO,CO,MHV,E,K,M,P,PI,T,U,V,ACFS,DI,DI,DI,CL,XC,YC)
75 REAL MHV,K,H,MACH(10)
76 COMPUTATION DNOM(25),DINI(L0),PI(10)
77 DATA DNOM(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100)
78 DATA DINIT(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100)
79 DATA DINIT(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100)
80 DATA DINIT(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100)
81 DATA DINIT(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100)
82 DATA DINIT(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100)
83 DATA DINIT(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100)
84 29 CONTINUE
85 5 D=DI(1)
86 DN=DNOM(1)
87 V=L*(ACFS*144./T*.1416*DI**2)
88 PI(1)=P
89 MACH(1)=V/V5
90 IF(MACH(1).GE.1.160 TO 47
91 GO 45 3=,10
92 IF(MACH(J-1).GE.1.160)MACH(J-1)=1.
93 PI(J)=P*(1+(K-1.)/L*(MACH(J-1)**2))*PI(K/(K-1.))
94 V=L*PI(J-1)/PI(J)
95 MACH(J)=V/V5
96 IF(ABS(MACH(J)-MACH(J-1)).LE.5.E-11) GO TO 4*
97 MACH(J)=(MACH(J)+MACH(J-1))/2.
98 45 CONTINUE
99 WRITE(6,3)CO,G,MHV,E,K,M,PI(J),T,U,L,DI,DI,DI,TETA,XC,YC,V,MACH(J)
100 STOP
101 47 3=
102 MACH(1)=1.
103 V=L5
104 P(11)=L*JC1439796*T/V/DI**2
105 48 RHL=M*PI(J)/IC.72/T
106 RL=(V/L)*SQRT(RHL/L*.6704)
107 CL=CL*(V/U)*IM/.9.)
108 IF(ICLM*.5) 5.5L,51
109 5. SL=2.04/(ICLM*.1L7)
110 AL=SL*.05
111 GO TO 53
112 51 SL=2.51/(ICLM*.0L25)
113 XL=SL-1.6E
114 IF(SL.GT.2.35) GO TO 55
115 XL=SQRT(SL)/12.
116 IF(SL.LT.2.0) XL=SL/50.
117 55 FUN=1.04*XL**2 + 2.05*(XL**2.20) - CL
118 IF(ABS(FUN).LE.1.E-6) GO TO 58
119 AL=ABS(XL - FUN/(2.08*XL + 0.574*(XL**2.72)))
120 JI=JI+1

```

```

121 IF (J1.LT.1) GO TO 50
122 WRITE(L,57) XL
123 57 FORMAT(' NO CONVERGL, XL=',F8.3)
124 STOP
125 58 Z=1.05*(XL**0.23)
126 YC=Z*(U2/I2)**REW7.82
127 XL=XL*(U1/I1)**RL*1.5
128 ILTA=ATAN(XC/YC)
129 F=SQRT((XC**2.1)**2+(YC**2)**2)
130 WRITE(L,31)C0,C1,HHV,E,K,M,P1(U),T,U,L,LD,DF,TETA,XC,YC,V,MACH(J)
131 12 FORMAT(10X,'GASTO DE GAS (M3SCFD) =',F8.2,'/5X,'GASTO DE GAS (SCFM
132 -) =',F8.2,'/5X,'CALOR DE COMBUSTION (BTU/CF) =',F8.2,'/5X,'EMIST
133 -IDAD =',F10.4,'/5X,'FACTOR CP/LV =',F8.4,'/5X,'PESO MOLECULAR =',F
134 -10.3,'/5X,'PRESION (PSIA) =',F8.3,'/5X,'TEMPERATURA G.R. =',F10.3,
135 -'/5X,'VELOCIDAD DEL VIENTO FT/SEG =',F8.3,'/5X,'DIAMETRO A LA SA
136 -LADA (PULO) =',F10.3,'/5X,'DIAMETRO NOMINAL CON. CO.40 =',F8.3,'/5X,'D
137 -IAMETRO INTERNO (PULG) =',F8.3,'/5X,'LONGITUD DEL FLAMA FT =',F8.2
138 -'/5X,'INCLINACION (RAD) =',F8.4,'/5X,'CENTRO DE LA FLAMA =',
139 -',F7.3,'/5X,'VELOCIDAD A LA SA_LADA (FT/SEG) =',F8.3,'/
140 -X,'NO. DE MACH =',F8.4,'/5X)
141 RETURN
142 ENL
143 9FOR,15 TPFS,RADIA.,RALTIA
144 SUBROUTINE RADIA (ELLV,CTE,YC,YC,XM,X,Y,HP)
145 REAL INCH
146 WRITE (5,90) Y
147 81 FORMAT(7,T30,'R A D I A C I O N',//,T10,'D,STANCIA A LA',T51,'HAY
148 -ACION',/7,T18,'BASE DEL FLAM FT.',T'1,'BTU/HR.FT**2 NIVL DE DEP
149 -RENCIA FT =',F7.2,/)
150 IF (HR.NE.0) WRITE(6,81)HR
151 81 FORMAT(7,T70,'HUMEDAD RELATIVA =',F8.1,/)
152 INCR=XMAX/10.
153 DIST=0.
154 TAL=1.0
155 DO 33 I=1,11
156 ALX=SQRT((LEV/100*(YC-Y)**2+(DIST-XC)**2)
157 IF (HR.NE.0) TAU=0.77*(LEUL/HR/AUX)**0.0075
158 RAG=CTE*TAU/IAUX**2)
159 WRITE(L,33) DIST,RAD,
160 33 FORMAT(2LX,F10.2,2LX,F10.2,/)
161 DIST=DIST+INCR
162 32 CONTINUE
163 RETURN
164 ENL

```

UNSITE PRINTOUT ON NOVEMBER 17, 1963 AT 14 07 25
 -WRVSRIN(1).TESIS/OT(2)

5.3. Ejemplo Teórico.

Se considera como ejemplo, el dimensionamiento de un Quemador Elevado para una plataforma marina.

El Quemador Elevado quedará localizado en un "trípode" separado de la plataforma por una distancia de 320 Ft. , unidos por un puente de tubería. Se requiere verificar que la radiación térmica en el nivel superior de la plataforma no sea mayor a $700 \text{ BTU}/(\text{Hr}\cdot\text{Ft}^2)$ durante la emergencia máxima.

Es una plataforma de Producción que mandara gas al quemador en cualquier emergencia, de las cuales la más crítica es cuando otra plataforma de compresión no admita el gas que se le esté mandando, así que se le llama una descarga bloqueada de la plataforma de producción.

Las características de operación se presentan en la siguiente "Hoja de Datos", y se muestra el esquema No. 17 con objeto de visualizar mejor el problema.

5.3.1. Hoja de Datos . (Ejemplo)

QUEMADOR ELEVADO

1.0 Servicio.

Quemador Elevado, Tag. CB - 101 , para Plataforma marina de Producción, con estructura de soporte tipo de torre " Derrick " , localizada en una plataforma tipo trípode.

2.0 Lugar .

Sonda de Campeche, México .

3.0 Características de Operación .

Flujo Max.	140.0	MMSCFD
Temperatura	60.0	°F
Peso Molecular	20.0	
Coefficiente Cp/Cv	1.3	
Contenido de H ₂ S	10	ppm
Tipo de gas	Gas Natural	

4.0 Características del Ambiente .

Presión Atmosférica	14.7	psia
Humedad Relativa %	80 - 100	
Carga por Viento max/nor	120/30	Ft/s

5.0 Restricciones Particulares .

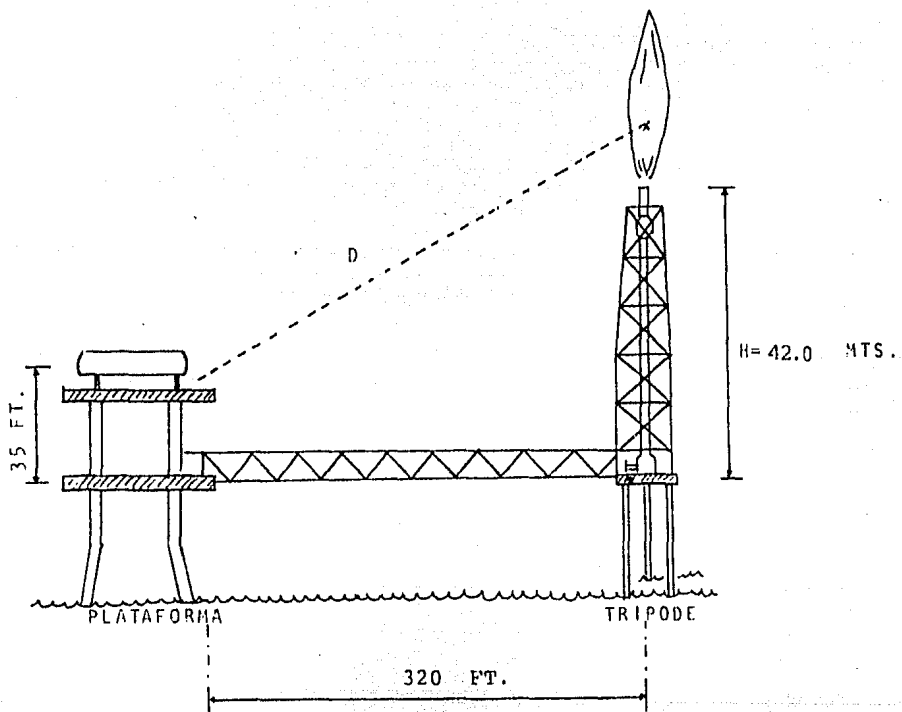
Radiación Térmica máxima a la base del quemador	2000.0	BTU/(Hr*Ft ²)
Radiación Térmica máxima en la Plataforma de Prod.	700.0	BTU/(Hr*Ft ²)
No. de Mach máximo en la Boquilla del quemador	0.55	
Nivel de ruido máximo en la Plataf. de Prod.	100	decibeles.
Nivel de H ₂ S máximo en la Plataforma de Prod.	5	ppm

6.0 Servicios Disponibles

A. Gas Combustible "dulce", de 1100 BTU/SCF , peso molecular 20, a una presión de 100. psig , y temperatura de 110 °F .

B. Aire de Instrumentos .- NO SE DISPONE,

C. Electricidad .- 220 v., a 60 Hz. , de 3 fases.



ESQUEMA No. 17

QUEMADOR ELEVADO PARA PLATAFORMA MARINHA

5.3.2. Resultados .

Se anexan los resultados en las hojas de computadora, donde han sido considerados los niveles superior e inferior de la plataforma.

5.3.3. Conclusiones particulares a este ejemplo.

En base a los resultados, se puede decir lo siguiente :

- 1.- Se selecciona un Quemador Elevado de 42 mts. de altura , con una boquilla de 24 pulg..
- 2.- La distancia entre el trípode y la plataforma de 320 Ft. es adecuada considerando las dimensiones del quemador, y además es un valor comun en la realidad.
- 3.- La radiación térmica máxima en la plataforma no excede de $700 \text{ BTU}/\text{H.Ft}^2$, quedando dentro de el límite especificado, así también , la radiación térmica en la base del quemador es menor a $2000 \text{ BTU}/(\text{Hr}\cdot\text{Ft}^2)$.
- 4.- Para la boquilla de 24 pulg. , el número de Mach máximo será de 0.4552 que esta dentro de lo especificado.
- 5.- Se preve que el nivel de ruido máximo en la plataforma será menor a los 100 decibeles, especificados, no obstante, esto no ha sido corroborado.
- 6.- El contenido de H_2S no es alto, y dada la distancia entre el tripode y la plataforma, habrá una buena dispersión de gases en la atmósfera, así que la concentración de H_2S en el aire de la plataforma, será menor que el límite maximo permisible (de 5 ppm.).

TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO, POR CARLOS OCHOA
 ESTIMACION DEL DIAMETRO Y ALTURA DE UN QUEMADOR EL VADO, MODELO "ERZUSTOWSKI"
 PROYECTO 111

QUEMADOR PARA PLATAFORMA * EJEMPLO TEORICO *
 GASTO DE GAS (MMSCFD) = 140.00
 GASTO DE GAS (SCFH) = 5833333.37
 CALOR DE COMBUSTION (BTU/SCF) = 1100.00
 EFICIENCIA = .2000
 FACTOR CP/CV = 1.3000
 PLSG MOLECULAR = 20.000
 PRESION (PSIA) = 16.779
 TEMPERATURA G.R. = 520.000
 VELOCIDAD DEL VIENTO FT/SEG = 34.000

DIAMETRO A LA SALIDA (PULG) = 18.539 DIAMETRO NOMINAL COMERCIAL = 24.000 DIAMETRO INTERNO (PULG) = 21.000
 LONGITUD DE FLAMA FT = 279.21
 INCLINACION (RAD) = .4596
 CENTRO DE LA FLAMA = (30.934, 52.666)
 VELOCIDAD A LA SALIDA (FT/SEG) = 593.1511
 NO. DE MACH = .4552

RADIACION MAXIMA (BTU/HP.FT**2) = 2000.00
 A UNA DISTANCIA DE LA BASE DEL FLARE (FT) = 39.99
 ALTURA DEL FLARE (HTS) = 41.72

R A D I A C I O N

DISTANCIA A LA BASE DEL FLARE FT.	RADIACION BTU/HP.FT**2	NIVEL DE REFERENCIA FT =	NUMEROS RELATIVOS = 80.00
39.99	1923.26		
71.30	1375.14		
106.50	1092.53		
142.33	715.68		
177.50	440.04		
213.00	316.82		
248.50	2354.98		
284.00	1873.23		
319.50	1321.63		
355.00	1013.31		
	817.96		

TEJES PROFESIONAL
QUEMADOR PARA PLATAFORMA * EJECILO TEORICO *
SELECCIONADO UN QUEMADOR DE ALTURA H. = 4.200
CON BOQUILLA (PULG) = 24.000
SIMULACION MOD. * BRUSTOWSKI *

PROYECTO 1001

GASTO DE GAS (MMSCFD) = 140.00
GASTO DE GAS (SCFH) = 5833333.37
CALOR DE COMBUSTION (BTU/SCF) = 110000
EMISIVIDAD = .2000
FACTOR CP/CV = 1.3000
PESO MOLECULAR = 20.100
PRESION (PSIA) = 16.779
TEMPERATURA G.R. = 521.000
VELOCIDAD DEL VIENTO FT/SEG = 30.000

DIAMETRO A LA SALIDA (PULG) = 21.000 DIAMETRO NOMINAL COMERCIAL = 24.000 DIAMETRO INTERNO (PULG) = 21.000

LONGITUD DE FLAMA FT = 270.21
INCLINACION (RAD) = .4596
CENTRO DE LA FLAMA (X, Y) = (33.984, 62.400) VELOCIDAD A LA SALIDA (FT/SEG) = 598.042 NO. DE MACH = .4057

R A D I A C I O N

DISTANCIA A LA BASE DEL FLARE FT.	RADIACION BTU/HF.FT ²	NIVEL DE REFERENCIA FT = 35.00
0.00	2700.75	HUMEDAD RELATIVA ϕ = 0.70
35.50	2302.00	
71.00	2135.77	
106.50	2000.16	
142.00	1970.36	
177.50	1900.60	
213.00	1870.26	
248.50	1800.37	
284.00	1750.84	
319.50	1680.40	
355.00	1670.39	

6. BASES Y ESPECIFICACIONES GENERALES PARA QUEMADOR ELEVADO

En este capítulo se presentan en forma general las bases de cálculo y los datos necesarios para llevar a cabo el dimensionamiento de un quemador Elevado, asimismo se exponen los requerimientos técnicos mínimos que deben cumplir en las etapas de diseño, de prueba y de colocación del quemador y sus partes auxiliares.

Es importante señalar que en proyectos especiales se pueden emitir Bases y Especificaciones propias unicamente del sistema de quemadores para dicho proyecto en particular, como es el caso cuando se requieren quemadores especiales tipo incinerador para sustancias tóxicas, o quemadores especiales para líquidos, en que generalmente, el diseño y la operación de los mismos son de responsabilidad única del fabricante.

6.1. BASES DE CALCULO

Las Bases de Cálculo se presentan en "Hojas de Datos", que deben contener toda la información respecto a la operación del sistema, de los servicios disponibles, de la localización y de sus condiciones ambientales, y, de las normas y códigos vigentes referentes a la contaminación ambiental. Se describe a continuación, la información contenida en dichas hojas de datos:

6.1.1 Tipo de Unidad y Servicio.

Se da una breve explicación del tipo de quemador requerido, y del servicio en que se utilizará, haciendo referencia a la planta y al número de proyecto. En su propuesta, el fabricante puede proponer

el sistema que por su experiencia le paresca mas apropiado.

6.1.2 Condiciones de Operación.

1. Flujo (max/nor/min)
2. Temperatura
3. Peso Molecular
4. Coeficiente C_p/C_v
5. Composición en % Volumen
6. Contenido de H_2S ,
' de H_2O
' de sustancias tóxicas
' de líquidos

6.1.3 Servicios Disponibles.

A. Gas Combustible

1. Valor Calorífico
2. Peso Molecular
3. Presión
4. Temperatura
5. Composición

B. Aire de Instrumentos

1. Presión
2. Temperatura

C. Electricidad

1. Voltaje
2. Ciclos
3. Fases

6.1.4 Localización y Condiciones Ambientales.

1. Lugar
2. Temperatura Ambiental (max/min)
3. Presión Barométrica
4. Humedad Relativa (max/min)
5. Precipitación anual
6. Carga por vientos (max/min)
7. Dirección prevaleciente del viento,
Vientos dominantes y reinantes.
8. Factor por Sismos

6.1.5 Normas y Códigos aplicables.

1. La concentración de gases a nivel de piso no debe exceder en ninguna circunstancia a los límites de concentración tóxica o explosiva.
2. El nivel de ruido no debe exceder de 100 db. en la operación de emergencia "pico", ni de 70 db. durante la operación continua.
3. Se aplicará el código ASME para los esfuerzos permisibles y determinar el espesor de la tubería.
4. La Radiación Térmica no excedera de $2000.00 \text{ BTU/hr.ft}^2$, en la base del quemador.

6.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.

Los requerimientos técnicos que deben cumplirse para tener una operación satisfactoria y poder dar un mantenimiento adecuado cuando así sea necesario, son considerados a continuación, tanto para el quemador en si, como también para los diferentes accesorios.

No obstante que se trate del diseño óptimo del sistema en cuanto al espacio ocupado y el tipo de estructura, deben considerarse los siguientes requerimientos técnicos .

6.2.1 Espacio ocupado y tipo de estructura.

El tipo de estructura será satisfactorio para el espacio disponible, para la altura del quemador, y para soportar las diferentes cargas por viento y por sismo, siendo además el diseño óptimo.

No se puede utilizar el quemador sujetado por cables para servicio en plataformas marinas.

6.2.2 Altura del quemador.

La altura del quemador y el diámetro de la boquilla correspondiente serán determinados en el diseño óptimo considerando los siguientes requerimientos :

1. Máxima Radiación Térmica permisible en la base del quemador o en ciertos puntos de referencia.
2. Altura segura para una dispersión de gases en caso de emisión de sustancias tóxicas o en el caso de apagado accidental.
3. La velocidad máxima de descarga por la boquilla del quemador, garantizando una flama estable, aun en condiciones adversas de viento.
4. La caída de presión a través del sistema, sin alterar la contra-

presión del sistema de desfogue.

6.2.3 Boquilla del Quemador.

La velocidad de descarga del gas en la boquilla debe asegurar una flama estable durante el quemado continuo de gas, aun en condiciones adversas por viento, y se deberá reducir al mínimo la emisión de humo.

La velocidad de descarga no excederá a un número de Mach de 0.5 para flujo continuo máximo.

Cuando sea reglamentario una operación sin humo, el sistema debe contar con dos métodos para supresión de humo, uno por inyección de vapor y el otro alternativo que se utilizará cuando falle el suministro de vapor.

El diseño de la boquilla debe contemplar que el ruido no exceda los siguientes límites :

- 100. db en una emergencia por pocos minutos ,
- 70. db durante la operación continua.

La boquilla contará con todos los accesorios necesarios para una operación satisfactoria, y además con las preparaciones de las interconexiones (bridas), dichos accesorios son :

Anillo de retención de flama ,
Mamparas, baffles y protectores de viento,
Pilotos y sistema de ignición, y
sistema de alarma por apagado .

6.2.4 Sello de gas.

El diseño de este accesorio es con objeto de dar protección al sistema contra una retrospección de flama, previniendo una penetración de

aire. Puede ser del tipo fluídico, del tipo laberíntico o del tipo molecular, además puede incorporar el uso de gas de purga en el sello , pero debe ser mínimo el consumo del gas de purga.

Si el sello colecta líquidos, debe tener una tubería de drenaje adecuada.

6.2.5 Base y sección ascendente .

La base y la sección de tubería ascendente deberán ser diseñadas considerando la presión máxima de trabajo y las cargas externas de viento y sismos.

El fabricante dará la información necesaria para que el comprador diseñe los cimientos y soportes necesarios.

La Base del quemador debe tener los accesorios necesarios para la unión (transición) entre el quemador y el cabezal de desfogue .

Esta transición puede ser de dos tipos :

- 1.- Por un codo en la parte inferior de un faldón soporte.
- 2.- Por una base cuya sección es mayor que la tubería ascendente, y contiene la boquilla de conexión al cabezal.

La conexión con el cabezal de desfogue será mediante una brida de cara realzada tipo ANSI .

La tubería ascendente llevará agarraderas y sujetadores para los accesorios y líneas de servicios ascendentes, con asas para sujetarse al soporte estructural.

Se aplicará el código ASME de esfuerzos permisibles para determinar los espesores de la tubería ascendente y las eficiencias de las uniones. La corrosión permisible será de 1/8 " en acero al carbón, a menos que se especifique otro valor en la hoja de datos.

El sistema sera diseñado para una presión interna de 50 Psig. mínimo, con el objeto de resistir cualquier posible explosión menor.

6.2.6 Sistema de Ignición y Pilotos.

El diseño del Sistema de Ignición dará un encendido seguro y confiable de los Pilotos aun bajo las condiciones adversas de clima prevalentes en el lugar.

Se requieren de un mínimo de dos pilotos para boquillas menores de 16" , y de tres pilotos para boquillas de 16" y mayores.

La localización de las partes que requieran mantenimiento sera tal que este trabajo pueda ser hecho aun con el quemador en operación. Para dar mantenimiento a accesorios ubicados cerca de la base del quemador debe ser utilizada ropa protectora , y mascarilla si es el caso en que se desechan gases tóxicos.

El diseño del sistema de Ignición debe incluir una alarma por falla del piloto, y un sistema de reignición automático si asi es requerido.

El tablero de Ignición o generador frontal de flama estara fijo en un tablero de acero al carbon, localizado alejado del quemador, donde la radiación térmica no exceda de $1000 \text{ BTU/hr}\cdot\text{ft}^2$, en caso de que pueda ser mayor la radiación térmica, se debe construir una protección adecuada . El tablero será a prueba de explosión y al intemperismo.

En el tablero de Ignición estarán localizadas las alarmas por falla de pilotos y por falla del gas de purga, llevando las terminales propias para que el usuario conecte otras alarmas remotas en tablero principal.

6.2.7 Plataformas y Escaleras .

Se instalarán escaleras y plataformas para tener acceso a la boquilla del quemador, y así poder dar mantenimiento, hacer cualquier reparación o hacer una inspección.

Se deben instalar rejillas de protección o bien barandales en las plataformas que estén ubicadas a más de 30 pies sobre el nivel de piso.

El diseño propuesto del quemador, considerando su estructura soporte, las plataformas y escaleras, y todos sus accesorios serán revisados y aprobados por el comprador, pero esto no exonera al fabricante de cumplir con las normas y regulaciones aplicables al sitio de trabajo.

6.2.8 Materiales de Construcción.

Todos los materiales de construcción estarán conforme a las especificaciones ASTM , y serán seleccionados por su compatibilidad con el gas, con el medio ambiente, y considerando las temperaturas a que estarán expuestos.

Las principales partes del Quemador son de los siguientes materiales en general :

Parte externa de la Boquilla : A-310s (Acero Inoxidable).

Parte interna de la Boquilla : Refractario

Sección Ascendente y Sello de gas : A-106 Gr.A (acero al carbón)
(o también API-5L)

Boquilla de los Pilotos : Incoloy 800

Tubería ascendente de pilotos : A-106 Gr. B

6.3 Requerimientos de Prueba y de Entrega del Quemador.

Durante la fabricación del sistema (Quemador Elevado) habrá una estrecha comunicación entre el fabricante y el comprador para evitar cualquier problema originado de cambios imprevistos. Se llevarán a cabo visitas de inspección y de prueba para que la fabricación, el ensamblaje y las preparaciones para la instalación se realicen en

común acuerdo .

6.3.1 Inspección y Prueba .

El comprador se reserva el derecho de inspeccionar el equipo en cualquier fase de su fabricación, para asegurar que los materiales, la fabricación y el ensamblado está de acuerdo a los dibujos y especificaciones previamente aprobados.

El fabricante debe probar y certificar todos los materiales utilizados, y presentará el procedimiento de prueba del equipo en las condiciones siguientes :

a) Sección de la Base y tubería ascendente :

Prueba Hidráulica a 1.5 veces la presión de diseño .

b) Tablero de Control :

Prueba funcional para especificaciones de diseño .

c) Pilotos y Generador frontal de flama :

Prueba neumática con aire comprimido seco a 30.0 Psig. .

6.3.2 Ensamblado, Embarque e Instalación

El Quemador sera completamente ensamblado o bien pre-ensamblado en su máxima extensión práctica antes de ser embarcado.

El tablero de control de ignición debe estar armado completamente, incluyendo toda la instrumentación que lleve.

Todas las conexiones para tubería de servicios y para pilotos terminarán en una brida o en la junta apropiada.

Se debe realizar pruebas de rayos X hasta un 10% mínimo de las uniones soldadas.

Toda la superficie expuesta a la intemperie y a la radiación térmica propia del Quemador, será tratada a chorro de arena, y después será pintada. Las superficies de acero inoxidable (austenítico) no requie-

ren de este tratamiento.

Las bridas de interconexión de las diferentes partes estarán cubiertas con grasa y con una protección de madera para prevenir cualquier daño durante el embarque.

El fabricante dará todas las instrucciones durante las maniobras de instalación y erección final, así también, indicará la forma de arranque, y debe dar los Manuales de Operación y Mantenimiento de todo el sistema, dando todas las explicaciones necesarias hasta la completa satisfacción del comprador o usuario.

El proveedor deberá dar una garantía por escrito, de que el quemador que ha suministrado cumple con todos los requerimientos que el comprador había especificado, y además, debe garantizar contra la posibilidad de que el material resulte defectuoso, o dé una operación no satisfactoria.

De el presente estudio sobre la Selección y Dimensionamiento de Quemadores de Campo para Gases se llega a las siguientes conclusiones :

- 1.- El tipo de quemador seleccionado será aquel que cumpla totalmente con las restricciones de Seguridad y de Contaminación Ambiental del lugar, además de cumplir con las necesidades del proceso y con las limitaciones de espacio involucradas en el diseño del quemador. Los Quemadores de Campo no representan una inversión por la que se logre una ganancia de dinero, consecuentemente existe una inquietud para optimizarlos tanto como sea posible, pero la mayoría de las consideraciones de diseño no pueden ser comprometidas para obtener economía.
- 2.- El valor de presión en la boquilla del quemador, estimado como función del número de Mach (que varía de 0.2 a 0.5, presentado en la parte 4.1.1.), es más adecuado que el suponer un valor constante de 2.0 psig. recomendado por el Instituto Americano del Petróleo (A.P.I.).
- 3.- Respecto al dimensionamiento de un Quemador Elevado :
Se recomienda utilizar el método de Brzustowski, ya que es el que presenta más fundamentos teóricos en base a estudios experimentales. (se presenta en la parte 4.1.2.C.).
Por el método del A.P.I. (parte 4.1.2.A.) se calcula una flama

más inclinada que conduce a un valor mayor en la altura del quemador, además que no se considera el efecto de la humedad ambiental .

Por los métodos de Kent y de Soen H. Tan, se predicen niveles de radiación térmica mayores debido a que parten de factores de emisividad altos, y dan por resultado quemadores de mayor altura. Además, al recomendar un número de Mach máximo de diseño de 0.2 en la boquilla, se determinan boquillas excedidas de diámetro, lo cual ocasiona tener baja velocidad del gas, lo que provoca problemas de humo y de corrosión en la boquilla.

Por el método de Straitz, se obtienen quemadores de menor altura, pero utiliza factores de emisividad muy pequeños (entre 0.1 y 0.12), que no son confiables.

El método de Reed (en la referencia No. 2) advierte que los valores de longitud de flama pueden estar en un error del 50% y recomienda que la altura del quemador se determine en base a la concentración de los gases tóxicos al nivel de piso, sin embargo para esto se hacen consideraciones de la "Dispersión de gases en la Atmósfera" (presentado en la sección 4.2), que tiene un alto porcentaje de error, especialmente al determinar el grado de turbulencia del viento y la estabilidad del medio.

Por lo anterior se concluye que el método de Brzustowski es el más apropiado, del cual se presenta un programa de cálculo en el Capítulo No. 5.

- 4.- El quemador de fosa con humo, se recomienda solamente cuando se prevee que habrá cantidades considerables de condensados en la corriente hacia el quemador, y se permite solamente en lugares donde las restricciones por Contaminación Ambiental son muy pobres, además que se cuenta con gran espacio disponible donde el acceso de personas es prohibido, debido a la intensa radiación térmica producida en los momentos de emergencia.

- 5.- El quemador de fosa sin humo, se recomienda cuando se tiene un flujo pequeño de gas (menor a 30 MMPCSD) en forma aproximadamente continua y para lugares donde las restricciones por Contaminación Ambiental sean muy estrictas.

- 6.- Para que el fabricante pueda dar una cotización completa de un quemador (con toda la información necesaria), se requiere que la orden de requisición sea acompañada de la Hoja de Datos, de las Especificaciones que se deberán cumplir, de la Garantía y de los Términos de la Transacción, con la forma semejante a los documentos descritos en el Capítulo 6.

8. BIBLIOGRAFIA .

1. American Petroleum Institute, " API - R.P. 521 ",
"Guide for Pressure Relief and Depressuring Systems",
1st. Edition, Sept. 1969 .
2. Reed R.D. , "Furnace Operations" ,
Chapter : " Flaring and Disposal " ,
Pags. 12-31 , Gulf Publishing Co., 1973 .
3. American Petroleum Institute, " Manual on Disposal of Refinery Wastes ;
Atmospheric Emissions, Chapter 15 " Flares " ,
API Publ. 931 , June 1977 .
4. Whitacker, S. , Introduction to Fluid Mechanics ,
Chapter 10 : " Compresible Flow " , pag. 390 - 419,
Prentice Hall Inc. , USA 1968,
5. Kent G. R. , " Practical Design of Flare Stacks " ,
Hydrocarbon Processing. V-43, (8), 1964,pag. 121-125.
6. Kent G. R. , " Find Radiation Effect of Flares " ,
Hydrocarbon Processing V-47, (6), 1968, pag. 119-130 .
7. Tan S. H. , " Flare System Design Simplified " ,
Hydrocarbon Processing Vol-46, (1) , 1967, pag. 172-176
8. Straitz J. F., "Nomogram Determines proper Flare-Tip Diameter",
Oil and Gas Petrochem Equipment. June 1979.
9. Straitz J. F. , " Nomogram determines proper Flare Stack Height " ,
Oil and Gas Petrochem Equipment, Aug. 1979 .

10. Oenbring P. R., " Flare Design Based on Full - Scale Plant Data ",
A.P.I.'s Midyear Refining Meeting. May. 12-15, Houston 1980.
Pag. 220 - 236 .
Hydrocarbon Processing, Vol. 59, (5), 1980, Pag. 124 - 129 .
11. Brzustowski T. A. , " Predicting Radiant Heating from Flares ",
A.P.I.'s 38th Midyear Meeting. Pa. Preprint 64 - 73, May 17,1973.
Pag. 865 - 893 .
12. Brzustowski T. A., "A New Criterion For The Length of A Gaseous
Turbulent Difussion Flame",
Combustion Science and Technology (1973) Vol. 6, Pag. 313 - 319.
13. Becker R., "Mathematical Model of Luminous Flame Radiation For
The Determination of Safety Zones",
Ger. Chem. Eng. Vol. 3, (1980), Pag. 229 - 233.
14. American Petroleum Institute, "Manual On Disposal of Refinery
Wastes", Atmospheric Emissions, Chapter 6 "Dispersion of Gases",
API Publ. 931, June 1977.
15. Perry J. H., "Chemical Engineer's Handbook",
Chapter 9 "Heat Generation and Transport",
4th Edition.
16. Secretaría de Salubridad y Asistencia, "Legislación Ambiental de
México ", Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, México 1977.
páginas 19 a 40 .