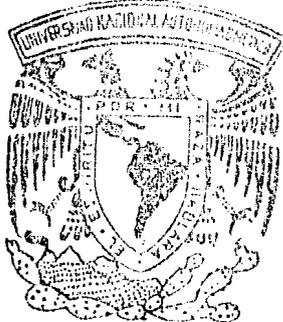


2. E. No. 23



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

Criterios Técnicos para el Diseño de Sistemas de Desfogue de Efluentes Gaseosos

T E S I S
Que para obtener el título de:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
p r e s e n t a :
J. JESUS SOLIS GARCIA

México, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

Cap.		Pag.
I	Introducción.	1
II	Consecuencias y Causas de los Desfogues- en Refinerías y Plantas Petroquímicas.	4
III	Quemadores Elevados Autosoportado, Suje- tado por Cables y de Torre (Derrick).	19
IV	Quemadores de Fosa de Emergencia, Ground Flare (Piso), Tipo Velitas (Parrilla) y- Multijet.	55
V	Tanques de Sello y Tanques Separadores,- Dimensionamiento.	71
VI	Características Fundamentales de las Par- tes en los Quemadores.	88
VII	Modelos para la Predicción de la Radia- ción Térmica para cada Quemador y Crite- rios Técnicos de Diseño.	148
VIII	Dispersión de Gases Tóxicos y Concentra- ción Permisible a Nivel de Piso.	274
IX	Unidad de Encendido Remoto con Operación Manual, Semiautomática y Automática.	306
X	La Metalurgia en los Materiales para la- Construcción de Quemadores.	321
XI	Conclusiones.	330

CAPITULO I

INTRODUCCION

El gran avance técnico al que se enfrenta el mundo actual y en particular nuestro país, sobre todo en el lugar privilegiado que ocupa en la producción de petróleo, hace más imperiosa cada día, la necesidad de aplicar nuevos métodos a la solución del diseño, Ingeniería de Proceso, Fabricación etc., para el sistema de tratamiento de efluentes gaseosos.

La característica que priva dentro de cualquier disciplina de la ciencia, es que un determinado proceso llevado a cabo en la Industria Petrolera y en la Industria Petroquímica es óptimo en tanto no se desarrolle otro mejor. Esta circunstancia se comprueba con frecuencia, dando lugar a que el profesional deba de mantener al día sus conocimientos, con el objeto de obtener mejores resultados, mejores soluciones y con el menor esfuerzo en algunos casos.

Con la gran ayuda que nos proporciona el campo de la Investigación de las Operaciones Unitarias, parte principal de la Ingeniería Industrial, cuyo desarrollo es relativamente nuevo, ofrece al Ingeniero varias técnicas de optimización obtenidas de información valiosa de especificaciones y códigos, no solo en estos equipos, sino también en el desarrollo de todo equipo por el cual esta constituido un complejo industrial, que en conjunto forman la Ingeniería de Proceso. Ahora bien, es de mucha ayuda para el Ingeniero que se dedique a cualquier rama de la Industria, pues este participa del conocimiento científico y técnico a la vez, no solo debe de sujetarse en su trabajo al uso de técnicas pre-establecidas o a lo que aprendió en su desarrollo profesional, sino por el contrario, buscar cada vez algo nuevo que-

proporcione mayores beneficios al mundo, o que disminuya el trabajo para los profesionistas y técnicos que vienen después de nosotros.

Todo descubrimiento tiene su explicación del porqué y en ocasiones resultan accidentes creados por el hombre, no es fácil lograrlo pues requiere de un gran esfuerzo mental. La Historia ha demostrado que muchos de los descubrimientos fueron realizados por mera casualidad, cuando se buscaba algo totalmente distinto.

Y este es el caso de investigar técnicas más efectivas y económicas para el evacuado y la eliminación de corrientes gaseosas de deshecho, habiendo tres soluciones: La primera es desfogarlos directamente por medio de Venteos Atmosféricos considerando que el efluente no crea una situación peligrosa; La segunda, someterlos a un Sistema de Recuperación de Efluentes y la tercera enviarlos directamente a un Quemador.

El estudio de estos equipos es sumamente amplio por lo que únicamente nos concretaremos a presentar la tercera solución en este trabajo.

Los quemadores elevados y/o fosas se han hecho indispensables en plantas Petroquímicas y en Refinerías de Petróleo, debido a los múltiples procesos químicos que se llevan a cabo en ellas, ya que durante sus procesos quedan corrientes gaseosas y líquidos acumulados, que no están previstos en el diseño original lo cual afecta en parte o en su totalidad a la planta.

Se hace un estudio completo de estos equipos, en donde se analizarán los criterios técnicos de diseño para la radiación térmica de la flama, que son factores importantes en el diseño mecánico y termodinámico de los mismos.

Por ultimo se ve el aspecto metalúrgico para la selección adecuada de materiales de construcción de estos equipos, - los cuales fundamentalmente manejan y/o tienen contacto directo con la flama.

Nuestro propósito es presentar las bases generales que auxiliien al Profesionista que se dedique a la Ingeniería de Proyectos, al Diseño y a la Fabricación del Equipo, ya que en la - actualidad existe muy poca gente experimentada dentro de este - campo.

Cabe mencionar, que si el lector tiene interés en ampliar sus conocimientos acerca de los Venteos Atmosféricos usando capacidades de flujo y ecuaciones adecuadas, en el AMERICAN-PETROLEUM INSTITUTE, Especificación API 2000, titulada "Venteos Atmosféricos y Tanques de Almacenamiento de Baja Presión", la - Puede encontrar; Para los Sistemas de Recuperación de Efluentes se recomienda consultar la misma publicación en la Especificación API 520, titulada "Diseño e Instalación de Sistemas de Desfogue en Refinerías".

Queremos subrayar tan solo, ya para dar principio al - desarrollo del presente trabajo, que debemos optar por una solución sencilla de tal manera que se justifique el empleo de una- de las técnicas apropiadas para el diseño de este equipo y lo- - grar con esto una economía práctica.

CAPITULO II

CONSECUENCIAS Y CAUSAS DE LOS DESFOGUES EN REFINERIAS Y PLANTAS PETROQUIMICAS

II-1 CONSECUENCIAS DE LOS DESFOGUES

II-1-1 Historia.

Desde el descubrimiento del primer pozo petrolífero en Rumania en el año de 1640, se supo que el petróleo consiste de - mezclas de hidrocarburos saturados, gaseosos, líquidos y sólidos en composición muy variable. La operación para extraerlo del sub suelo es muy delicada por el desprendimiento de ciertos gases in flamables o por la salida intempestiva del petróleo en forma lí- quida a grandes presiones, esto requiere dar el alivio necesario a los equipos involucrados en la operación para evitar explosio- nes o incluso, el envenenamiento del personal de operación, debi do a la gran cantidad de gases acumulados en la extracción.

Una vez extraído el petróleo se tenía que transportar a las refineras para someterlo a una destilación fraccionada, por lo cual se optó en utilizar oleoductos a las terminales de alma- cenamiento, donde el petróleo llegaba con presión variable y se- desfogaban grandes cantidades de gases que eran arrojados direc- tamente a la atmósfera, algunos en extremo tóxicos y en su mayo- ría inflamables, de aquí hubo preocupación y se diseñaron equi- pos rudimentarios que consistían en simples tubos donde el gas - era desfogado y encendido con una lanza empapada de petróleo y - lanzada a donde se estaba desfogando el gas y/o líquido de deshe cho y por lo regular era muy peligroso arriesgar de tal forma la vida de una persona, ya que el efecto de la radiación al momento

del punto de inflamación, la persona corría el riesgo de quemarse.

Fue entonces cuando el hombre diseñó un equipo adecuado que permitiera el desfogue correcto e inventar el medio más efectivo para encender dicha corriente gaseosa. Así nació lo que conocemos como "fosas", y más adelante se diseñaron los quemadores -- elevados conocidos como "antorchas".

En el año de 1960 en Inglaterra, por medio de la Kaldair Limited, desarrollaron y revolucionaron nuevos sistemas de desfogue en especial las boquillas para quemado, que utilizan el efecto Coanda, logrando con esto disminuir el nivel de radiación, man tener una flama estable y manejar extensos volúmenes de gas.

No obstante con el nacimiento reciente de nuestra Industria Petroquímica, hoy en día es una de las industrias de la Química Orgánica más importante por sus múltiples aplicaciones, la clasificación de las refinerías en plantas de gas, plantas fraccionadoras de ligeros y pesados, plantas de isomerización, plantas catalíticas, etc., cada una tiene la finalidad de procesar de terminados productos químicos. Todas estas plantas requieren forzosamente de los sistemas de alivio de corrientes gaseosas y/o líquidas que el presente trabajo pretende describir y analizar.

De hecho actualmente así sucede, cada complejo industrial produce diferentes productos petroquímicos de acuerdo a la posición geográfica en que se encuentre, y su administración se con centra en el Staff el cual tiene el control de los mismos.

II-1-2 Sistemas de desfogue.

El uso de un quemador es un medio seguro para eliminar grandes cantidades gaseosas de deshecho.

Un sistema de desfogue se diseña especialmente para tratar gases de deshecho originados en Refinerías, Plantas Petroquímicas, líneas de conducción, áreas de almacenamiento de productos, etc.; ya sea durante su operación normal o de emergencia.

En una Refinería o Planta Petroquímica la necesidad de un sistema de desfogue se justifica al ser un medio seguro y efectivo de controlar el exceso de hidrocarburos resultante en una falla de equipo o alguna situación de emergencia, tal como almacenamiento de gas, falla de instrumentación, falla de corriente eléctrica, falla en el agua de enfriamiento a condensados.

Antes de la utilización de los quemadores, los hidrocarburos eran venteados directamente a la atmósfera. Lo cual presentaba dos problemas:

- 1.- La acumulación a nivel de piso grandes cantidades de vapores en niveles tóxicos e inflamables.
- 2.- La contaminación del medio ambiente.

Las corrientes gaseosas de un sistema de relevo pueden ser descargadas con seguridad directamente a la atmósfera.

La decisión de descargar hidrocarburos u otros vapores peligrosos a la atmósfera requiere de cuidadosa atención de diseño para no crear una situación potencialmente peligrosa o de efectos devastadores, tales como:

- 1.- Formación de mezclas inflamables a nivel de piso o en estructuras elevadas.
- 2.- Efecto del viento.

3.- Localización.

El efecto devastador en la formación de mezclas gaseosas a nivel de piso sobre todo en gases más pesados que el aire, es muy peligroso debido a que cualquier fuente externa de ignición trae como consecuencia una desgracia.

El efecto y la dirección del viento es muy importante - saber sí es posible descargar gases de tal manera que sean arrastrados por el viento a lugares donde no exista peligro alguno.

La localización es también una característica importante antes del diseño de los equipos que deberán tenerse muy en cuenta en el plano general de localización de equipo (layout).

Estos tres factores se tomarán en cuenta en el diseño del quemador elevado y/o fosas, Capítulo VII.

II-2 CAUSAS DE LOS DESFOGUES

II-2-1 Causas de sobrepresión.

La sobrepresión es el resultado de un desbalance de los flujos de materia y energía en alguna parte del sistema.

Los recipientes a presión, cambiadores de calor, equipo de operación y tubería son diseñados para contener un sistema a presión. El diseño está basado en la presión de operación normal a la temperatura de operación, el efecto de cualquier combinación de cargas mecánicas tiende a romper la diferencial entre la presión de operación y la presión de calibración de los elementos de seguridad.

Los sistemas de proceso son diseñados para desarrollar y prevenir la presión en cualquier parte del equipo de un excedente máximo de presión acumulada permisible.

Como ejemplo de sobrepresión tenemos los siguientes casos:

a) Inadvertidamente ha sido cerrada una válvula de bloqueo en la salida de un recipiente a presión, mientras la planta está en operación, puede exponer al recipiente a una presión que exceda el máximo de la presión de trabajo permisible. Si la válvula no está fija o sellada en la posición abierta, se requiere un dispositivo aliviador de presión; el cierre de esta válvula puede ocasionar una sobrepresión. Cada válvula de control debe ser considerada como sujeta a operación inadvertida. Generalmente, la omisión de válvulas de bloqueo interpuestas en serie en los recipientes, puede simplificar los requerimientos aliviadores de presión. Para diseños de capacidad de sistemas, se puede suponer que las válvulas de control normalmente abiertas y funcionando al momento de la falla y no estando afectadas por la causa primaria de la falla, permanecerán en operación.

b) Inadvertidamente una válvula ha sido abierta de una fuente de alta presión, tal como vapor de alta presión o proceso de fluidos, debe ser considerado. Esta acción puede requerir de una capacidad de relevo de presión a menos que se tomen medidas para fijar o sellar la válvula en posición de cierre. La falla de una válvula de retención (check) para cerrar, puede tener el mismo efecto que la abertura inadvertida de ella.

c) Falla de servicios de cualquier tipo, así sea en la planta o locales deberán ser cuidadosamente evaluadas. Normalmente los servicios útiles que podrían faltar, así como una lista parcial de los equipos afectados que podrían causar una sobrepresión, son los siguientes:

FALLA DE SERVICIO

EQUIPO AFECTADO

Electricidad

Bombas para circulación de agua-

de enfriamiento, alimentación a calderas, equipo contra incendio.

Cambiadores de calor para proceso de enfriamiento de aire comprimido, torres de enfriamiento.

Compresores para proceso de aire de instrumentos, vacío o refrigeración.

Instrumentación eléctrica o electrónica, válvulas autooperadas.

Agua de enfriamiento

Condensadores de proceso, enfriadores de proceso, envolventes para equipo rotatorio o recíprocante.

Aire de instrumentos

Transmisores, controladores, válvulas reguladoras de proceso, sistemas de alarma y paro.

Vapor

Turbinas accionadoras de bombas, compresores, sopladores, ventiladores de aire para combustión, generadores eléctricos.

Rehervidores.

Bombas recíprocantes.

Procesos de inyección de vapor.

Eductores.

Combustibles	Calderas, quemadores y hornos.
Gas inerte	Sellos, reactores catalíticos, - Instrumentos y equipo de purga.

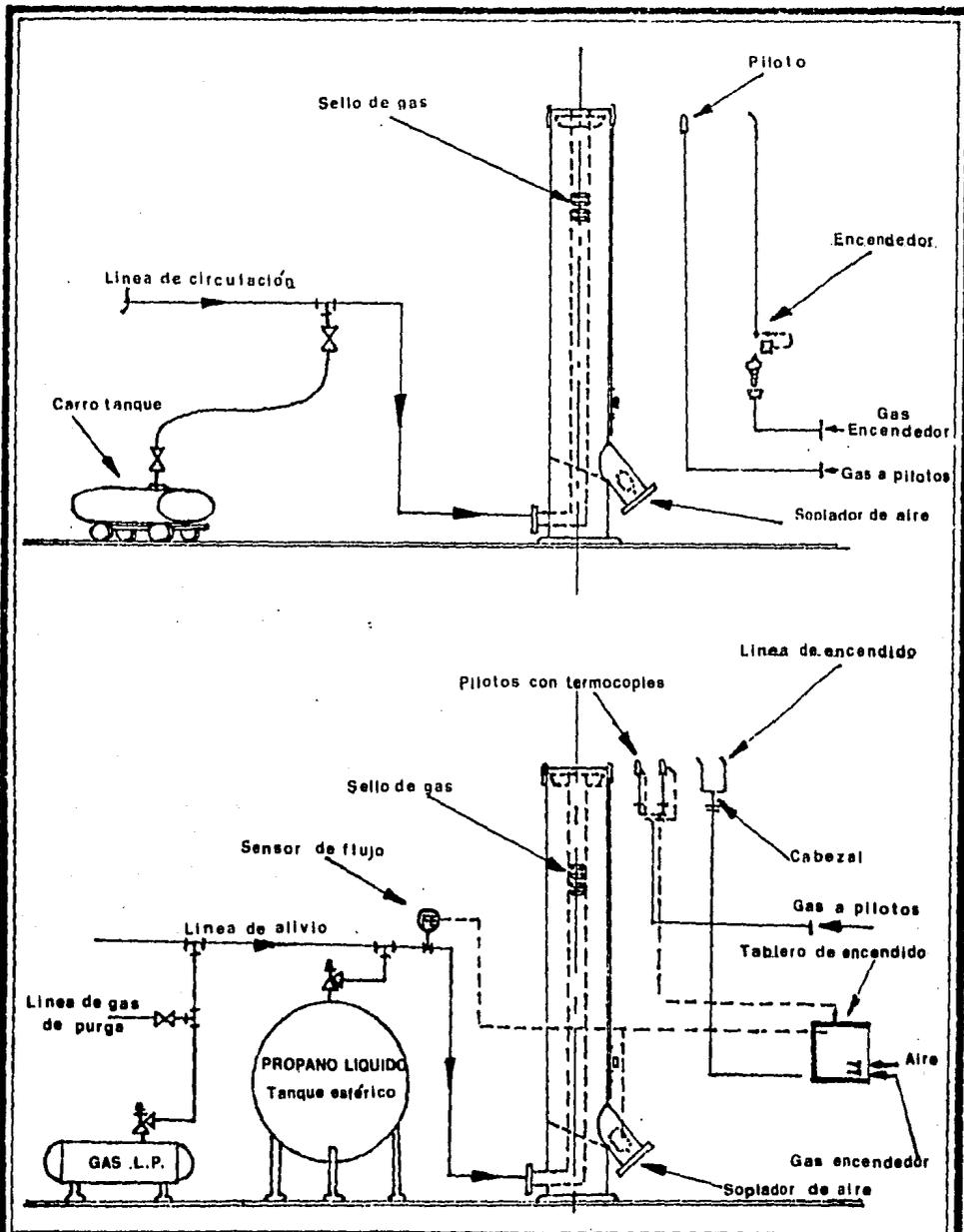
Los recipientes presurizados tales como tanques de almacenamiento de gases sometidos a presión, se recomienda que estos cuenten con sus dispositivos de seguridad de alivio de presión, -alivio de vacío, conservación de desfogue, respiraderos de tanques para carga y descarga con el objeto de proteger el tanque y el contenido contra alguna fuente externa de ignición o de una posible sobrepresión, que se llenan por conexión directa con camiones tanque o tanques ferroviarios causando por lo tanto un excedente de hidrocarburos que tendrán que ser desfogados directamente a los quemadores, esta situación la podemos observar en la fig. No. II-1.

II-2-2 Falla de energía eléctrica.

La determinación de los requerimientos de relevo por falla de energía eléctrica en una planta o un sistema, requieren de un cuidadoso análisis para evaluar que equipo es afectado por la falla de energía, y cómo la falla de equipo afecta la operación de la planta.

La falla de energía deberá ser analizada de tres maneras:

- 1.- Falla de energía local.- Un sólo elemento del equipo es afectado.
- 2.- Falla de energía intermedia.- Un centro de distribución o un centro de control es afectado.



**DESCARGA DE CARRO TANQUE
 TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE GAS**

REF. No.5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. Vo.Bo. CARITINO MORENO

E.C. *[Signature]* FIGURA: II-1 FECHA: ENE-84

3.- Falla de energía total.- Todo el equipo operado eléctricamente se ve afectado simultáneamente.

Los efectos resultantes de una falla de energía local -- son fácilmente evaluados cuando elementos individuales del equipo, tales como bombas, ventiladores y válvulas solenoide son afectadas.

La falla eléctrica intermedia puede causar serios efectos más que las otras dos, según la distribución de bombas y motores entre los alimentadores eléctricos. Por ejemplo al dejar de funcionar un ventilador, podría perderse todo el aire enfriado;-- al dejar de ser accionada una bomba por un motor eléctrico, se interrumpe el flujo de un fluido a un proceso, con lo cual se ocasiona una inundación en un condensador y puede anular cualquier influencia tomada normalmente por el efecto de convección natural en el aire que esta siendo enfriado en el condensador.

La falla eléctrica total, requiere de un cuidadoso estudio para analizar y evaluar los efectos combinados de fallas múltiples. La consideración especial deberá ser dada para el efecto de válvulas de alivio simultáneamente abiertas en varios servicios, particularmente si las válvulas de alivio descargan en un sistema de cabezales abiertos.

II-2-3 Falla en el equipo de transferencia de calor.

La posibilidad de una sobrepresión debida a la ruptura de un tubo en un intercambiador de calor o un conjunto de tubos en un recipiente a presión, por ejemplo un rehervidor, se considera lo suficientemente remota, de tal forma que la protección de relevo del lado de baja presión no es requerida a menos que la presión pudiera exceder la presión de la prueba hidrostática. Por esta razón, siempre que la presión de diseño del lado de baja pre

sión sea igual o mayor que dos terceras partes de la presión de operación del lado de alta presión.

La instalación de una válvula de relevo generalmente es tá garantizada a menos que el equipo de tubería y de corriente - abajo del lado de baja presión, tengan la capacidad de manejar - el material de la fuente de alta presión sin exceder en un 110% - de la presión del diseño del equipo.

II-2-4 Falla en el agua de enfriamiento.

Las consecuencias ocasionadas por la falla de este ser vicio, parcial o totalmente deben de ser cuidadosamente estudiadas dependiendo del equipo afectado.

En un condensador la falla total de este servicio provo ca que el vapor de un líquido no sea condensado y la capacidad - acumulada aumenta el nivel normal del agua de enfriamiento que - generalmente es limitada a menos de 10 minutos. Si la falla en - el agua de enfriamiento excede este tiempo, el reflujó se perde rá, por lo tanto la temperatura y la composición del vapor pue den variar significativamente.

Para la falla parcial, el requerimiento de relevo es la diferencia entre la entrada del vapor y la salida de vapor a con diciones de relevo. La entrada de vapor deberá ser calculada en - base a una falla total. Si el reflujó es cambiado en composi - ción o cantidad, la entrada de vapor deberá ser determinada para nuevas condiciones de operación.

Otra falla que es de tomarse también en consideración - es el sistema de refrigeración, que es el resultado de la falla - de instrumentación o equipo de bombeo, causando una sobrepresión en una columna por la pérdida de gas refrigerante en el proceso.

II-2-5 Expansión térmica.

Un incremento en el volumen del líquido causado por el aumento o disminución en temperatura podrá ser originado por varias causas, las más comunes cuando:

a) La tubería y recipientes son bloqueados mientras se llenan con líquido frío y subsecuentemente es calentado por la ganancia de calor de la radiación solar directa o fuego exterior.

b) Un cambiador de calor es bloqueado en el lado frío-teniendo flujo en el lado caliente.

II-2-6 Fuego exterior.

Los cálculos para las necesidades de relevo en recipientes sometidos directamente a fuego se presentan en el AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE RP 520, Parte I, sección 6.

Sin embargo, pueden tomarse algunas consideraciones para el diseño en los sistemas de desfogue.

a) La extensión de la zona sometida a fuego y las características de la instalación que permitan confinar el fuego dentro de un área dada.

b) Por experiencia, un fuego puede ser confinado dentro de un área de 2,500 pies cuadrados.

c) Los aislamientos adicionales o un incremento en espesor del aislamiento en un recipiente en especial podrá ser considerado como un medio para reducir la generación de vapores por la exposición de fuego.

d) Durante un incendio, todas las alimentaciones y co-

rrientes involucradas del sistema deberán ser despresurizadas, de tal manera que la generación de vapor es solamente función del calor absorbido y del calor latente de vaporización del líquido.

II-3 SISTEMAS DE ALIVIO

El propósito del sistema de alivio en una planta de proceso es el de permitir a gases y/o líquidos ser descargados inmediatamente a un sistema de menor presión, para poder ser evacuados en forma segura.

El método más común de evacuación es el de quemar los gases o líquidos. Este método convierte los gases o líquidos inflamables, tóxicos o corrosivos en componentes menos peligrosos. La combustión puede tener lugar ya sea en un sistema elevado o un sistema a nivel de piso. Los diferentes tipos de sistemas de quemadores serán detallados en los subsecuentes capítulos. La decisión de cuando optar por un sistema u otro depende de muchos factores como son: Espacio disponible, tipo de sustancias a quemar, costos de instalación, operación y mantenimiento, reglas federales sobre contaminación ambiental, etc.

Estos sistemas pueden consistir sencillamente de un cabezal de desfogue adecuado para lugares lo suficientemente remotos, o bien pueden ser muy sofisticados con un conjunto de equipos integrados con compresores de recuperación de gases, boquillas sin humo de bajo nivel de ruido, controles totalmente automáticos, sellos de gas y de agua, tanques separadores, controles de flama, vapor y aire, etc.

Los diferentes tipos de sistemas de desfogue son los siguientes:

- a) Quemadores elevados.

- b) Quemadores de fosa.
- c) Tanques separadores.

Los equipos y componentes de los mismos serán descritos con detalle en los capítulos III, IV y V.

Los tanques separadores son parte primordial de los quemadores, su instalación dependerá de la calidad del efluente que está siendo desfogado, ya que recuperan gases o líquidos en lugar de quemarlos.

Un diagrama típico de flujo de un quemador elevado integrado con tanques separadores, compresores de recuperación de gas y con controles automáticos, se ilustra en la fig. No. II-2.

II-3-1 Operación.

La operación del quemador y recuperación de efluentes es la siguiente:

- A.- El gas de deshecho procedente del cabezal de desfogue del quemador entra a un primer tanque separador, donde se separa y se elimina o separa una cierta cantidad de efluente líquido.
- B.- El líquido separado es bombeado y regresado a la planta por recirculación.
- C.- El gas libre de líquido pasa a través de una válvula de control y al primer silenciador del sistema de compresión.
- D.- El gas comprimido pasa a través del silenciador -

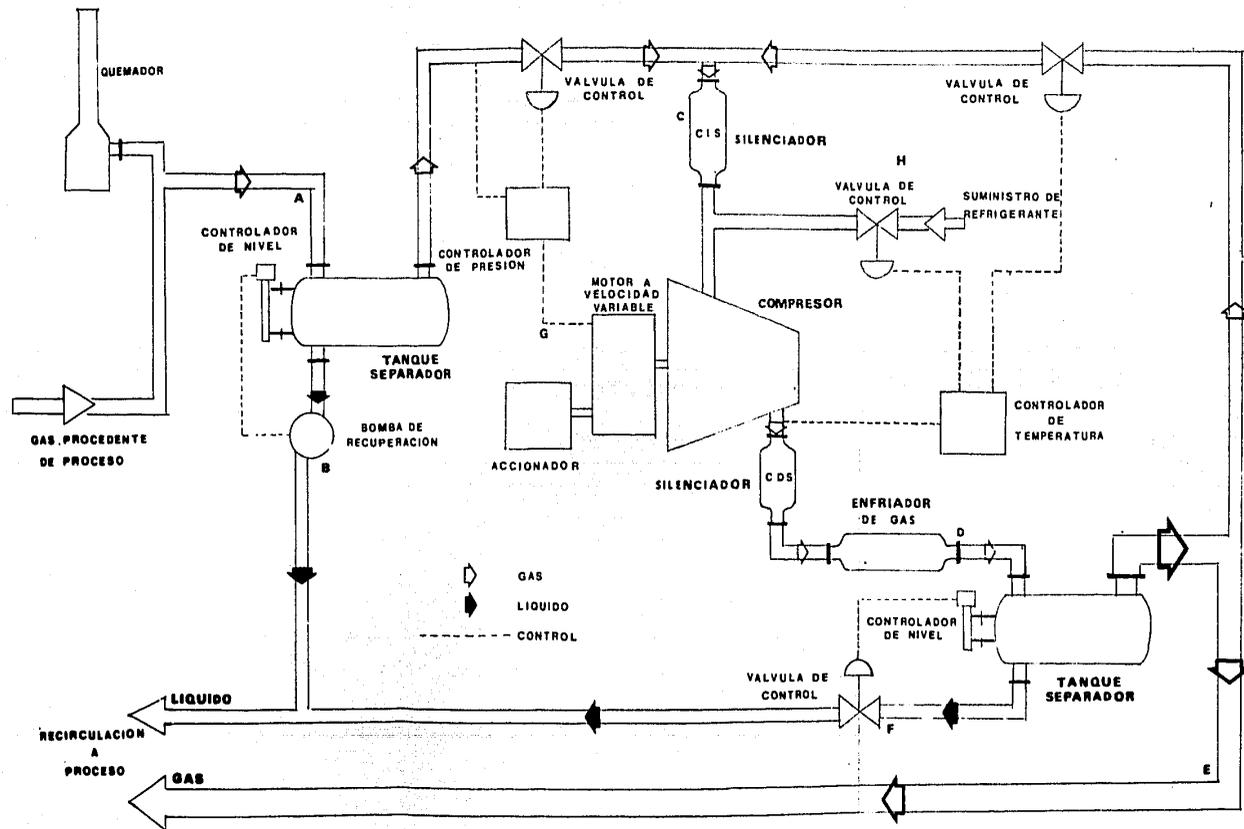
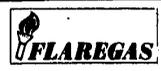


FIG. 11-2 SISTEMA DE QUEMADO Y RECUPERACION



REF. No. 11

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

por: JESUS SOLIS G. y CARITINO MORENO

As: _____ Proyecto: II-2 Tema: ENE-84

de descarga, el gas es enfriado en un enfriador de calor, y entonces pasará a un segundo tanque - separador para garantizar la entrega de un gas -- limpio y seco.

- E.- El gas comprimido es regresado por recirculación para usarse como combustible o almacenarlo.
- F.- El líquido retorna a la planta por recirculación.
- G.- Un cambio de presión en la entrada de gas causará un cambio en la velocidad del compresor por un -- sistema de descompresión impulsado por las condiciones de flujo, la válvula de control deberá regular el paso de gas al compresor.
- H.- Para proteger al compresor por variaciones en los rangos de flujo y temperatura, el líquido es enfriado y/o se recircula gas refrigerante, que es inyectado antes de la succión del compresor.

Teniendo presentes las causas que prevalezcan en una refinería o una planta petroquímica los siguientes capítulos describen el equipo adecuado para alivio de la planta.

CAPITULO III

QUEMADORES ELEVADOS AUTOSOPORTADO, SUJETADO POR CABLES Y DE TORRE (DERRICK).

III-1 DEFINICION DE QUEMADORES ELEVADOS

Un quemador elevado es una chimenea o tubería soportada en cuya punta se lleva a efecto la combustión de gases de deshecho. El hecho de que sean elevados es para mantener el resplandor de la flama y el calor que irradia ésta, lo suficientemente lejos de los equipos de zonas de operación de tal manera que no resulten dañados, así como evitar el efecto, al personal, de las substancias tóxicas que contienen los gases de desfogues.

Los principales componentes de un quemador elevado son los siguientes:

- 1.- Boquilla para quemar gas de deshecho con humo o sin humo.
- 2.- Sello de gas.
- 3.- Cabezal elevador de gases.
- 4.- Sello de agua.
- 5.- Separador de partículas.
- 6.- Tablero de ignición.
- 7.- Cañerías de servicio.
- 8.- Plataformas de soporte.
- 9.- Sistemas de soporte (Cables contraviento, autosoportes, estructuras reticuladas).

En quemadores elevados, tres tipos son los más usuales en la industria y son los siguientes:

- Quemador tipo autoportado.
- Quemador sujetado por cables.
- Quemador tipo torre (Derrick).

El quemador autoportado es el más económico para alturas máximas de 72 metros o menos, su erección en campo es más fácil y ocupa menos espacio de terreno ya instalado. El quemador se ilustra en la fig. No. III-1.

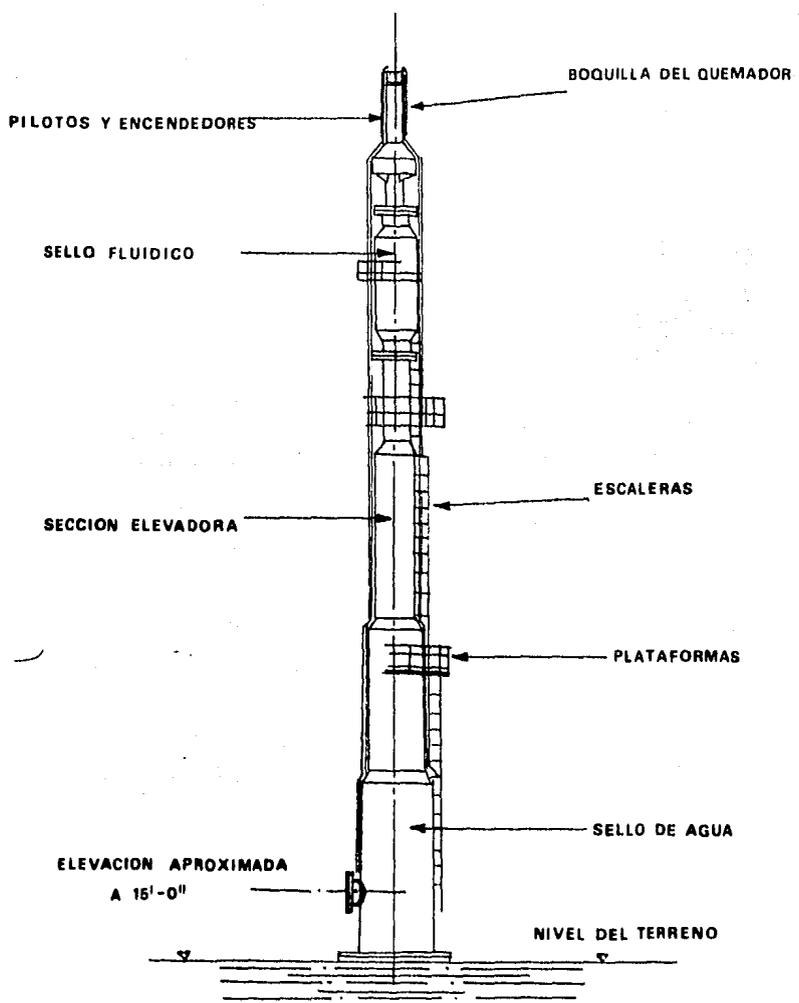
El quemador sujeto por cables se usa para alturas hasta de 180 metros, necesarios en quemadores de gran diámetro. Este quemador, necesita gran espacio de terreno, ya que las anclas de los cables forman un círculo cuyo diámetro es muy similar a la altura del quemador. El criterio de su erección es realizar un estudio que involucra Ingeniería Civil, topografía y tener un terreno muy amplio para su erección, con la condición de que en el lugar donde se le instalará no exista en el futuro una expansión de la planta, si la hay deberá tenerse el terreno apropiado para dicha expansión, ver fig. No. III-2.

El quemador tipo torre (Derrick) es ideal en instalaciones dentro de los confines de la planta donde se necesita altura para disminuir el nivel de la radiación y donde las distancias disponibles a otros equipos están limitadas. El costo de este quemador con respecto a los otros es mucho mayor, su elección se basa únicamente en el volumen de gas manejado, ver fig. No. III-3.

III-2 DESCRIPCION DEL QUEMADOR ELEVADO CON HUMO

El quemador elevado con humo esta diseñado para tratar volúmenes de gas producido por medio de la combustión en situación de emergencia o durante la falla de equipo.

Este quemador se requiere donde el desfogue sea esporá



QUEMADOR ELEVADO AUTOSOPORTADO

S/R

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

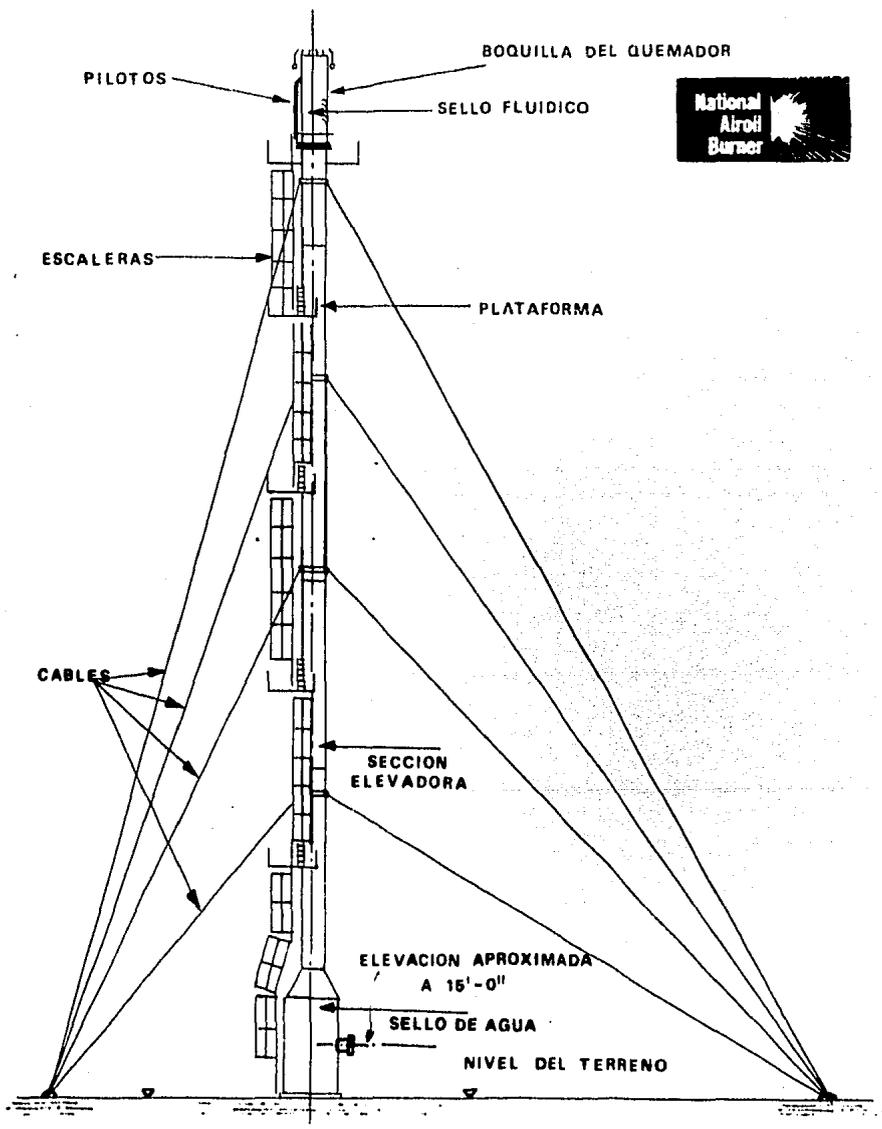
DIB. JESUS SOLIS G.

Vd. Bco. CARITINO MORENO

EGC. *[Signature]*

FIGURA No. III-1

FECHA: ENE-84



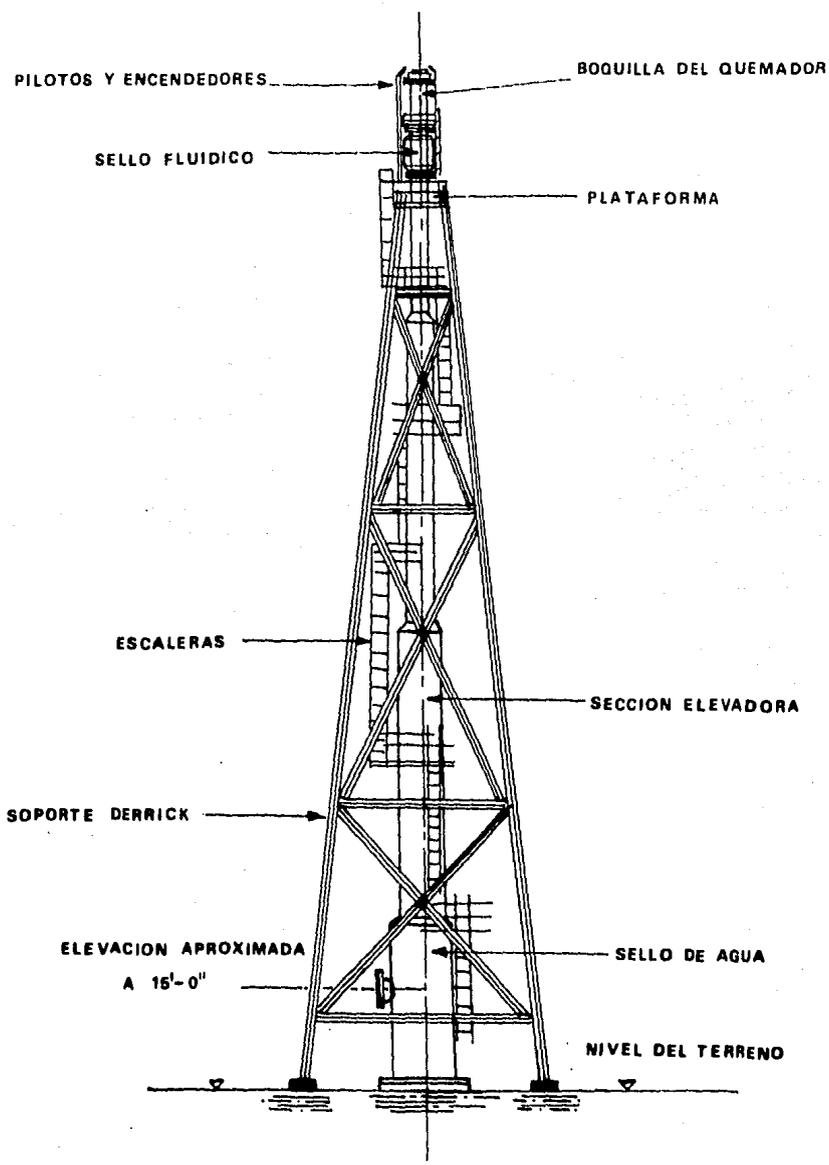
QUEMADOR ELEVADO CABLEADO

REF. No.16

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. Vo. Bo. CARITINO MORENO

ESC. *H* FIGURA No. III-2 FECHA: ENE-84



QUEMADOR ELEVADO DE TORRE
(DERRICK)
 S/R

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

DIB.	JESUS SOLIS G.	Vo. Co.	CARITINO MORENO
ESC.	<i>[Signature]</i>	FIGURA No.	III-3
		FECHA:	ENE-84

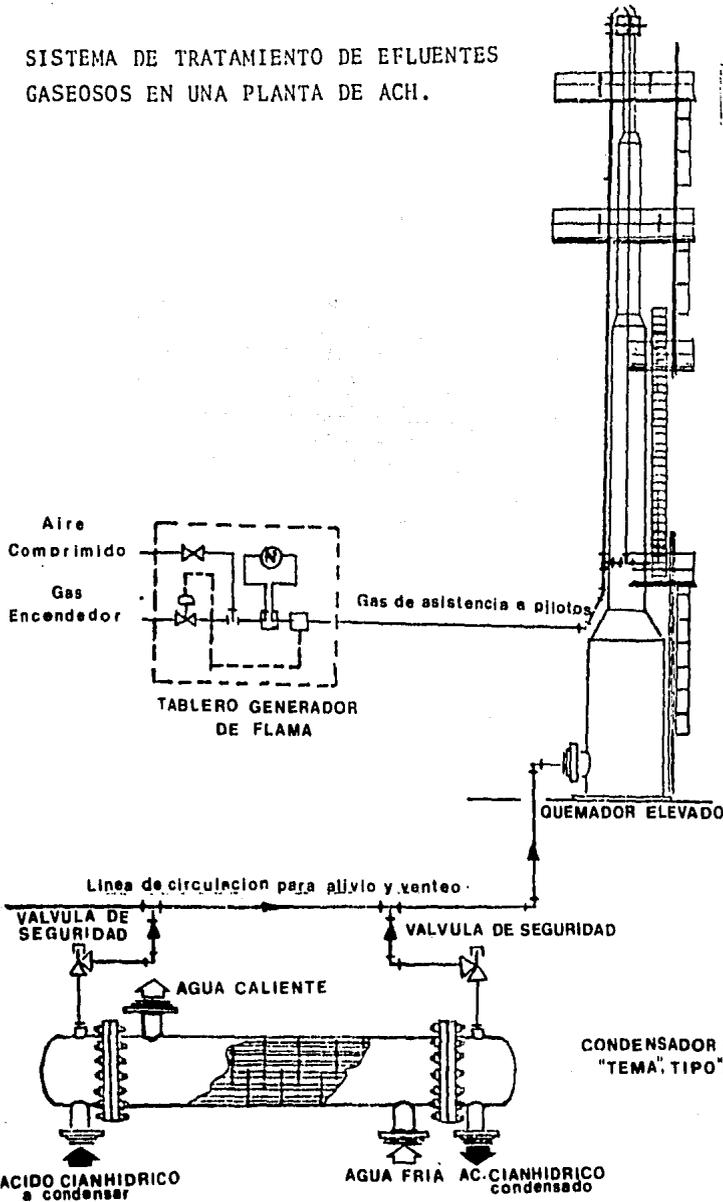
dico o de muy poca intensidad y que el efluente a quemar no produzca humo al momento de llevar a cabo la combustión.

Estos quemadores son de bajo costo con respecto a los que están diseñados a no producir humo y los encontramos frecuentemente en plantas petroquímicas que desfogan desechos sumamente tóxicos e inflamables, que a diferencia de los hidrocarburos, estos por su composición química no producen humo o en algunos casos, la cantidad de humo producido es mínimo.

Los desfogues que podemos citar de algunas plantas petroquímicas, donde se requiere de estos quemadores, son los siguientes:

- A.- Proceso de fabricación de Acetocianhidrina a partir de acetona y ácido cianhídrico.
- B.- Proceso de fabricación de caprolactama a partir de ciclohexano.
- C.- Proceso de fabricación de Polibutadieno a partir de butadieno.
- D.- Proceso de fabricación de ácido tereftálico y dimetil tereftalato a partir de para-xileno.
- E.- Proceso de fabricación de resinas iso-ftálicas a partir de anhídrido ftálico, anhídrido maleico y glicol.
- F.- Proceso de fabricación del formaldehído a partir de metanol.
- G.- Proceso de fabricación de dioctil-ftalato a partir de 2-etil-hexanol.
- H.- Proceso de fabricación de estireno a partir de etil benceno.

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES GASEOSOS EN UNA PLANTA DE ACH.



SISTEMA DE DESFOGUE DE (ACH)

REF. No.11
(Quemador)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

PIB. JESUS SOLIS G. Vo do CARITINO MORENO

ESC. *[Signature]*

FIGURA No. III-4

FECHA: ENE-84

- I.- Proceso de fabricación de plomo-tetraetilo a partir de cloruro de etilo.
- J.- Proceso de fabricación de cloruro de vinilo a partir de dicloro-etileno.
- K.- Proceso de fabricación de glicoles a partir de óxido de etileno.
- L.- Proceso de fabricación de propenonitrilo a partir de propileno y cianuro de hidrógeno.
- M.- Proceso de fabricación de polipropileno a partir de propil-benceno.
- N.- Proceso de fabricación de dodecil-benceno a partir de benceno.
- O.- Proceso de fabricación de anhídrido ftálico a partir de orto-xileno.

En cualquier situación de emergencia deberá desfogarse el flujo de gas que excedió su presión fuera de la normal durante su proceso de fabricación en los reactores.

Estos y muchos otros procesos son desarrollados en la Industria Petroquímica, la cual ha tenido un auge tremendo en los últimos años.

III-2-1 Descripción de cada componente de un quemador elevado con humo.

- 1.- La boquilla para quemado con humo. Consiste de:
 - a) Coraza superior cilíndrica.
 - b) Estabilizador de flama, protector de calor, -- rompiviento, asas de levantamiento.
 - c) Conjunto de pilotos y tubería necesaria para -

la alimentación del gas de encendido.

d) Revestimiento de tabique refractario.

Los estabilizadores de flama, evitan una turbulencia del gas a quemar, provocada por el efecto del viento y durante los períodos en que se presentan descargas pico del sistema a desfogar. Los estabilizadores mantienen una flama estable en la punta de la boquilla del quemador.

La función del rompeviento es evitar que la flama tenga un ladeo a los lados de la boquilla del quemador.

El conjunto de pilotos, localizados a los lados de la boquilla del quemador, son para el suministro de gas y constituyen el medio de ignición para encender el gas de desfogar. Dependiendo del diámetro de la boquilla y la cantidad de gas a desfogar, el número de pilotos en un quemador varía desde uno hasta cuatro pilotos. El piloto esta compuesto en conjunto por tres partes fundamentales que son: Boquilla, línea de tubería y el mezclador.

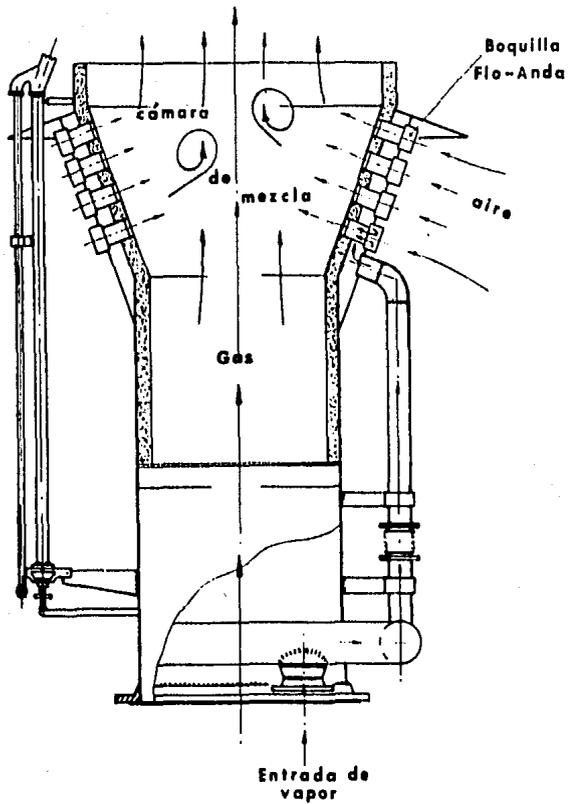
El revestimiento de refractario se aplica en el interior de la boquilla con el objeto de proteger el metal de un sobrecalentamiento por la temperatura de la flama que pueda estar muy cercana a la transformación de fase del material usado, por consiguiente es muy importante que el cuerpo de la boquilla no se le someta a un tratamiento de "Relevado de Esfuerzos", debido a que siempre estarán en contacto con la flama.

Esta boquilla se ilustra con detalle en la figura No. III-5.

2.- Sello de gas (Tambien conocido como sello fludico) Estos sellos tienen diámetros desde 3 pulgadas hasta 36 pulga--



BOQUILLA DE QUEMADOR ELEVADO



**BOQUILLA DE QUEMADOR ELEVADO
EQUIPADA CON EYECTORES TIPO
(Flo-Anda)**

REF. No.12

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIV. JESUS SOLIS G. DIV. CARITINO MORENO

ESC.

FIGURA No.

III-5

FECHA:

ENE-84

das, manejando capacidades de 775 a 850,000 libras/hora de gas respectivamente.

Su instalación es muy necesaria debido a que existen zonas donde el efecto del viento es muy marcado y puede provocar una condición muy peligrosa en el quemador, condición que provoca un retroceso de la flama (Flash back) hacia abajo del quemador y por consiguiente que esta se apague.

Los sellos fludicos son sumamente ligeros y pesan --- aproximadamente un 10 % del peso de los sellos moleculares. El sello fludico consiste de una serie de baffles o mamparas orientadas de tal manera que la corriente de aire pueda entrar en la boquilla y regrese por las paredes de la misma. El baffle original que el gas salga por el centro de la boquilla creando un flujo positivo hacia la salida. Este efecto puede ser reforzado por el empleo de gas de ayuda o gas de purga y este sello requiere un porcentaje menor en volumen del 25 al 33 %, usado normalmente en los sellos moleculares.

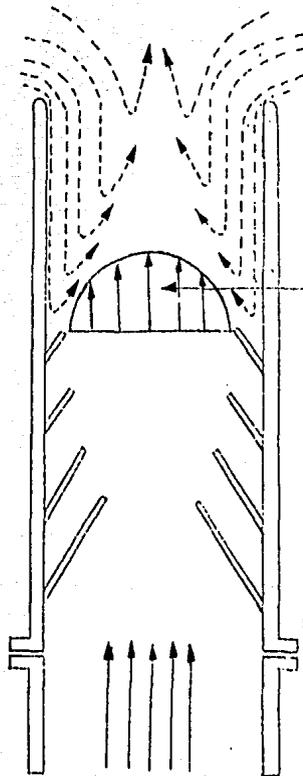
Como puede verse en la fig. No. III-6, una cantidad de aire esta entrando deslizandose por la pared de la boquilla. Este aire es regresado por el primer baffle y reducido en el segundo, tercer y cuarto baffle progresivamente. Ninguno de los baffles puede eliminar por si solo el efecto del viento, sin embargo se puede lograr una gran eficiencia mediante el uso de todos ellos.

El propósito del gas de purga es barrer el aire que pueda entrar por el efecto del viento. El gas de purga puede ser: Gas Natural, Propano, Nitrógeno, etc.

Otro tipo de sello, usado con anterioridad al sello fludico, es el sello molecular. Este tipo de sello utiliza una



ENTRADA DE AIRE



GRADIENTE DE LA VELOCIDAD DEL GAS

SECCION ELEVADORA

FLUJO DE GAS PARA LA PURGA

SELLO FLUIDICO

REF. No.16

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

D/B: JESUS SOLIS G. Vo.Bo CARITINO MORENO

ESC.  ELEVADORA No. III-6 FECHA: ENE-84

doble curvatura tipo "U" invertida hacia otra, para prevenir el paso de flujo de aire hacia el interior del quemador.

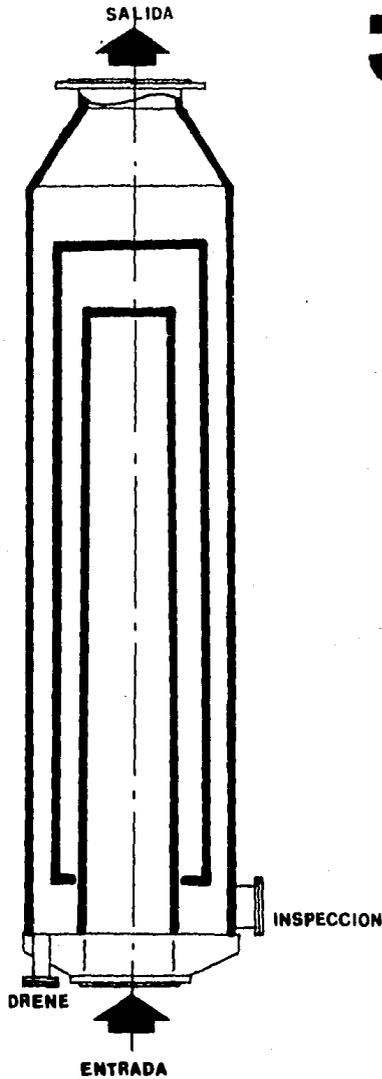
A pesar de su gran efectividad el sello molecular tiene algunas desventajas:

- a) Es muy pesado y grande debido a la complejidad de sus pasajes.
- b) Requiere de estructuras más fuertes y costosas.
- c) Su eficiencia se ve reducida si sus pasajes se llenan parcialmente de agua, aunque se pueda drenar completamente y remover el refractario.
- d) Se requiere de un volumen mayor de gas de purga. Este requerimiento aumenta en alto viento, oscilación o alguna contracción.

La oscilación es causada por el cese repentino de la corriente de gas, ya sea parcial o totalmente. La columna del gas continúa su recorrido a través del sistema. Cuando la columna de gas salga del quemador, será creada una zona de baja presión ocasionando que el aire entre al sistema. Esta entrada de aire será controlada por el sello molecular porque la caída de presión a través del sello es igual en ambas direcciones. Fig.-No. III-7.

La contracción térmica también arrastra aire al quemador. Cuando la flama se apague, el gas enfriará rápidamente. La Contracción en el gas creará una baja presión en una zona vulnerable al influjo del aire circundante. El problema se agrava por el efecto de la lluvia especialmente porque se acelerará el proceso de enfriamiento.

JZ



SELLO MOLECULAR

REF. No.15

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DISEÑADA POR: JESUS SOLIS G. Visto por: CARITINO MORENO

ELABORADA POR: *[Signature]* FIGURA No. III-7 FECHA: ENE-84

3.- Cabezal elevador de gases: Prácticamente donde está un ensanchamiento, constituido por una reducción "Cónica" se encuentra el cabezal elevador de gases, la reducción cónica ayuda a deslizar uniformemente el gas al interior de la chimenea.- evitando al mismo tiempo una turbulencia.

4.- Sello de agua: Forma la parte inferior del cabezal elevador (base) su función consiste en dividir y desviar el flujo de efluentes gaseosos y/o líquidos a los quemadores de fosa o enviarlos directamente a un sistema de recuperación de efluentes. La altura de agua que el sello de agua deberá tener es de 0.3 a 0.4 metros, esta altura mantiene una presión positiva en las cañerías de alivio, para asegurar que no entre aire al sistema.

5.- Separadores de partículas: Se utilizan para separar el contenido de efluentes líquidos que poseen los gases deshecho, antes de que estos sean quemados directamente en un quemador elevado y pueden causar una "lluvia de fuego".

Los separadores se localizan en la base del quemador - en forma vertical y con entradas tangencialmente dispuestas o - bien pueden estar independientemente separados de la base del quemador, las partes del sistema pueden observarse en la fig. - No. III-8.

6.- Pilotos: Están localizados en la punta del quemador y son encendidos remotamente desde el tablero de ignición, y son parte esencial en el sistema de desfogue. La seguridad -- que prevalezca en el quemador puede estar enormemente influenciada por su operación.

Sistema simple de quemador y chimenea para las plantas petroquímicas y refinerías

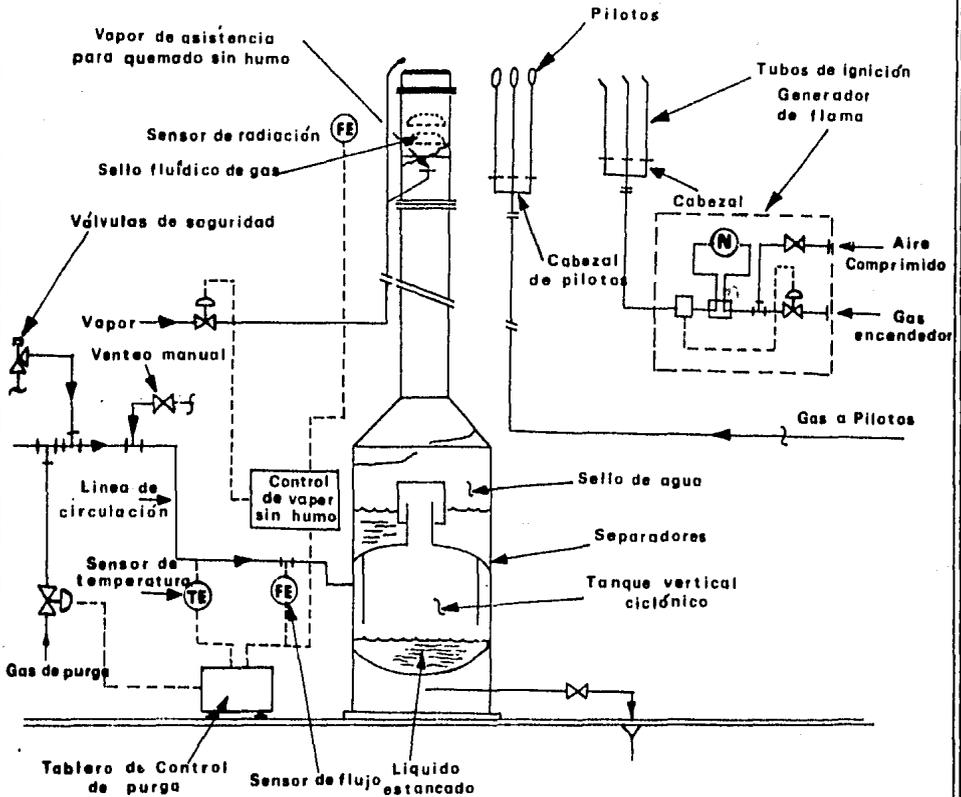


DIAGRAMA DE UN QUEMADOR

REF. No.5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

Dib. JESUS SOLIS G. Vo.Bo. CARITINO MORENO

ESC. *[Signature]*

FIGURA No. III-8

FECHA: ENE-84

Existen dos sistemas de ignición para el encendido de los pilotos del quemador y estos son:

- a) Con uso de aire comprimido.
- b) Sin uso de aire comprimido.

Los primeros pueden estar ubicados hasta una distancia de 1,500 metros del quemador.

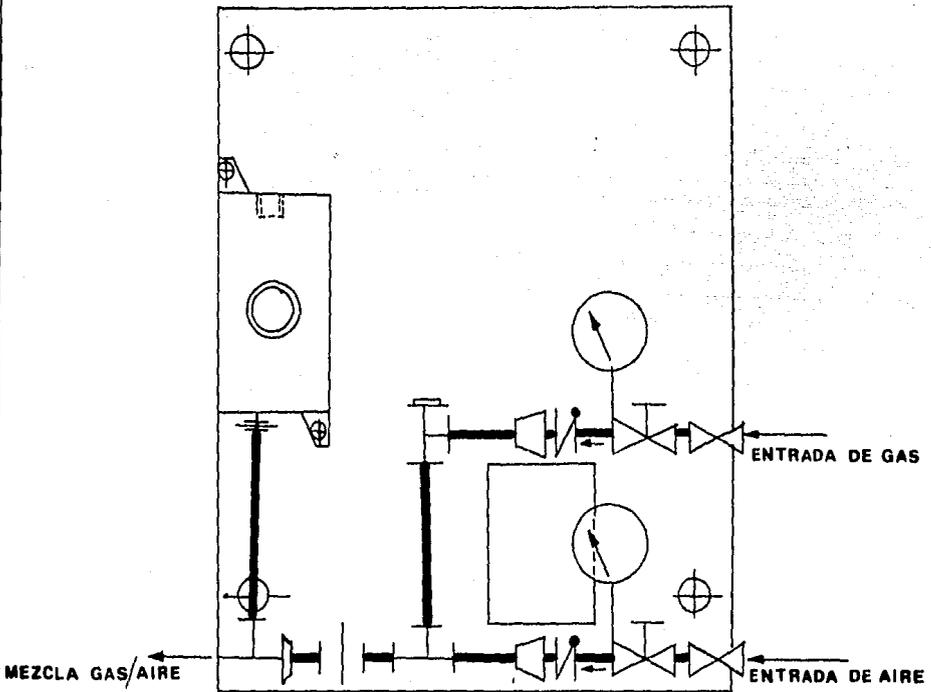
Para sistemas de ignición que no usan corriente de aire comprimido, estos deberán estar muy cerca de los quemadores.

Las diferencias de ambos sistemas depende mucho de si la planta puede o no suministrar aire comprimido para los quemadores que se encuentren en las afueras de la planta, lo cual resulta difícil enviar una línea de aire para este propósito por la distancia a la que se encuentran los quemadores.

Los tableros de ignición pueden ser operados manual o automáticamente cuando los pilotos del quemador estén apagados.

Un tablero de ignición, tal como se muestra en la fig. No. III-9, necesita de una corriente de gas y una de aire comprimido. La mezcla de aire/gas se lleva a cabo en una cámara de combustión en la que una chispa es provocada por una bujía excitada por un transformador eléctrico. Los requerimientos necesarios de gas y aire, así como la operación de estos equipos serán descritos con detalle en el capítulo IX.

7.- Cañerías de servicio en los sellos de agua: Son útiles para el deshecho aceitoso y químico de los desfuegos, para el deshecho aceitoso, éste hay que recolectarlo dentro de la planta y mandarlo a una fosa, de ser posible colocar una planta-



**GENERADOR DE FLAMA PARA EL
ENCENDIDO DE LOS PILOTOS**

REF. No.11

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

Dib. JESUS SOLIS G.

Vs. Cc. CARITINO MORENO

Esc.

FIGURA No

III-9

FECHA:

ENE-84

de tratamiento. El efluente líquido deberá tener ciertas especificaciones antes de enviarlos a las cañerías.

8.- Plataformas de soporte: En los tres tipos de quemadores descritos en la sección III-1, los pernos y la cimentación de la base de la chimenea en el terreno deberán ser desarrollados por la Ingeniería Civil, considerando el peso propio en conjunto de todo el sistema, la zona sísmica, la distribución de -- fuerzas laterales inducidas sobre estructuras de soporte. El Ingeniero Civil deberá calcular el coeficiente numérico que permite estimar el esfuerzo cortante provocado por un sismo, considerando el peso total del equipo incluyendo aislamiento, tubería, partes internas y cualquier otro objeto unido al mismo.

Para el caso de que la chimenea sea soportada por medio de cables de acero, ofrece solución económica, pero el área deberá ser lo suficientemente grande para permitir localizar las anclas de los cables.

Si la estructura de una chimenea es autoportada, la -- elección es buena, pero económicamente no se compara con la cableada, debido a que esta debe contar con dos o tres secciones de tubería de elevación, denominados (riser section).

Las estructuras Derrick son usualmente empleadas donde -- el área de terreno es mínima y la chimenea es demasiado alta para poder permitir la instalación de una chimenea autoportada. Las torres Derrick también son empleadas donde existen procesos con exceso de temperatura que impide el uso de una chimenea cableada.

Dentro de los sistemas de soporte para las chimeneas, -- sobre todo para las de gran altura y donde el viento es potencialmente fuerte, se han diseñado cables contraviento para mantener firme el sistema. Alrededor de la chimenea se le adaptan estructuras reticuladas llamadas "rompavientos", su función con

siste en desviar y romper la ráfaga de viento. El diseño y la -- aplicación de esta estructura dependerá mucho de las condiciones climatológicas, velocidad del viento, dirección y en que época - del año es más acentuada. Este tipo de estructura la podemos observar en la fig. No. III-10.

III-3 DESCRIPCION DEL QUEMADOR ELEVADO SIN HUMO

El quemador elevado sin humo se requiere para disponer- limpiamente de las corrientes de gases de deshecho es decir, sin la emisión de humo o contaminantes.

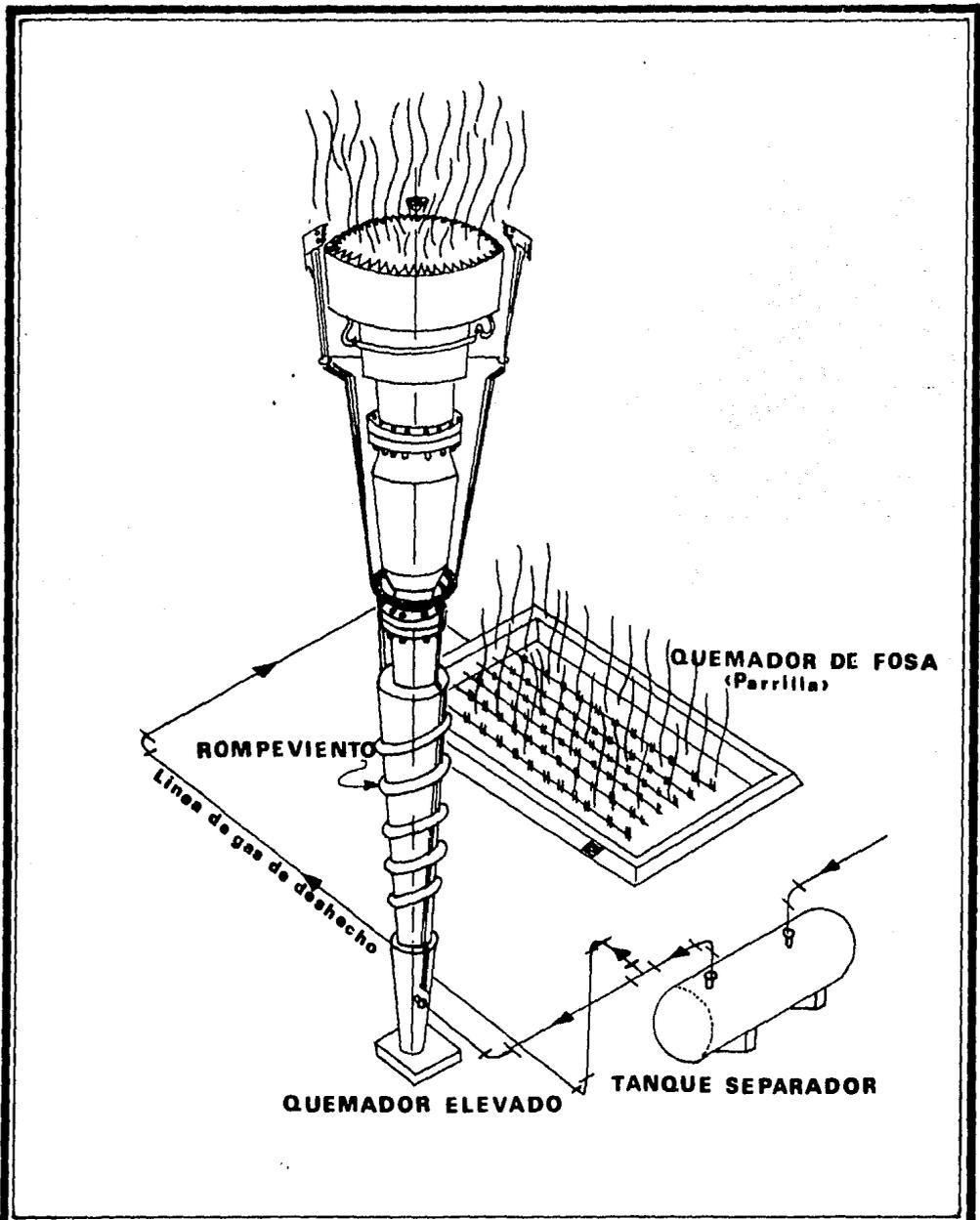
Los quemadores sin humo son usados en:

- Plataformas marinas.
- Terminales de almacenamiento.
- Refinerías.
- Plantas petroquímicas.

Estos equipos se les requiere en donde los desfogues -- son de gran intensidad, períodos en que se presentan descargas-- pico del sistema de desfogue, desfogues que producen gran cantidad de humo al momento de llevar a cabo la combustión.

Los componentes que forman al quemador elevado sin humo son exactamente los mismos ya descritos en la sección III-2 DESCRIPCION DEL QUEMADOR ELEVADO CON HUMO, la única diferencia esta en la modificación del tipo de boquilla donde se lleva a cabo la combustión. La boquilla posee dispositivos de eyección vapor/aire.

Los quemadores elevados sin humo utilizan corriente externa como vapor, agua y aire para producir mezclas de gas/aire- de gran velocidad y turbulencia.



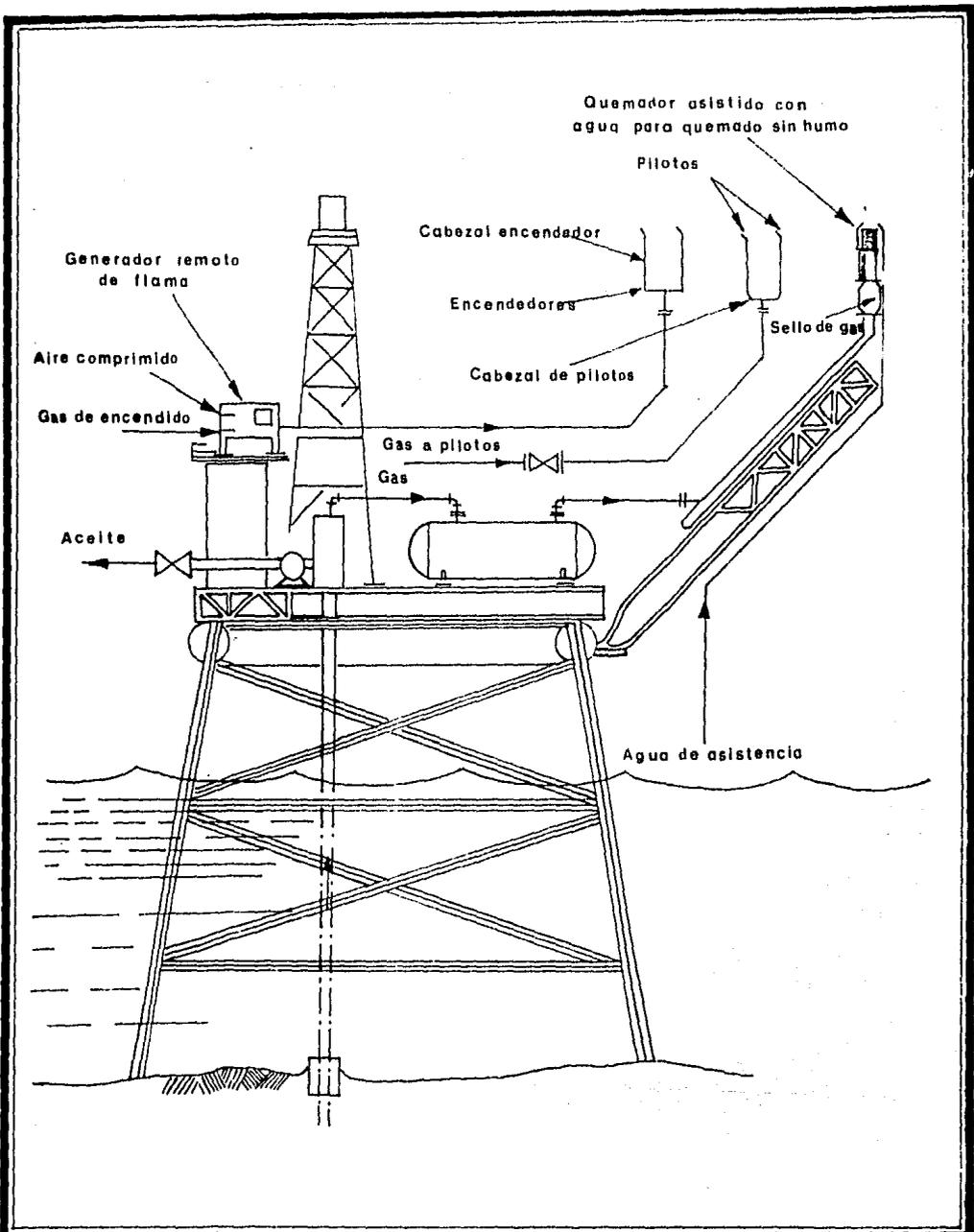
ROMPEVIENTO EN UN QUEMADOR ELEVADO
S/R

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DEMEX.
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

D.B. JESUS SOLIS G. V.B. CARITINO MORENO

ESC. FIGURA No. III-10 FECHA: ENE-84



PLATAFORMA MARINA

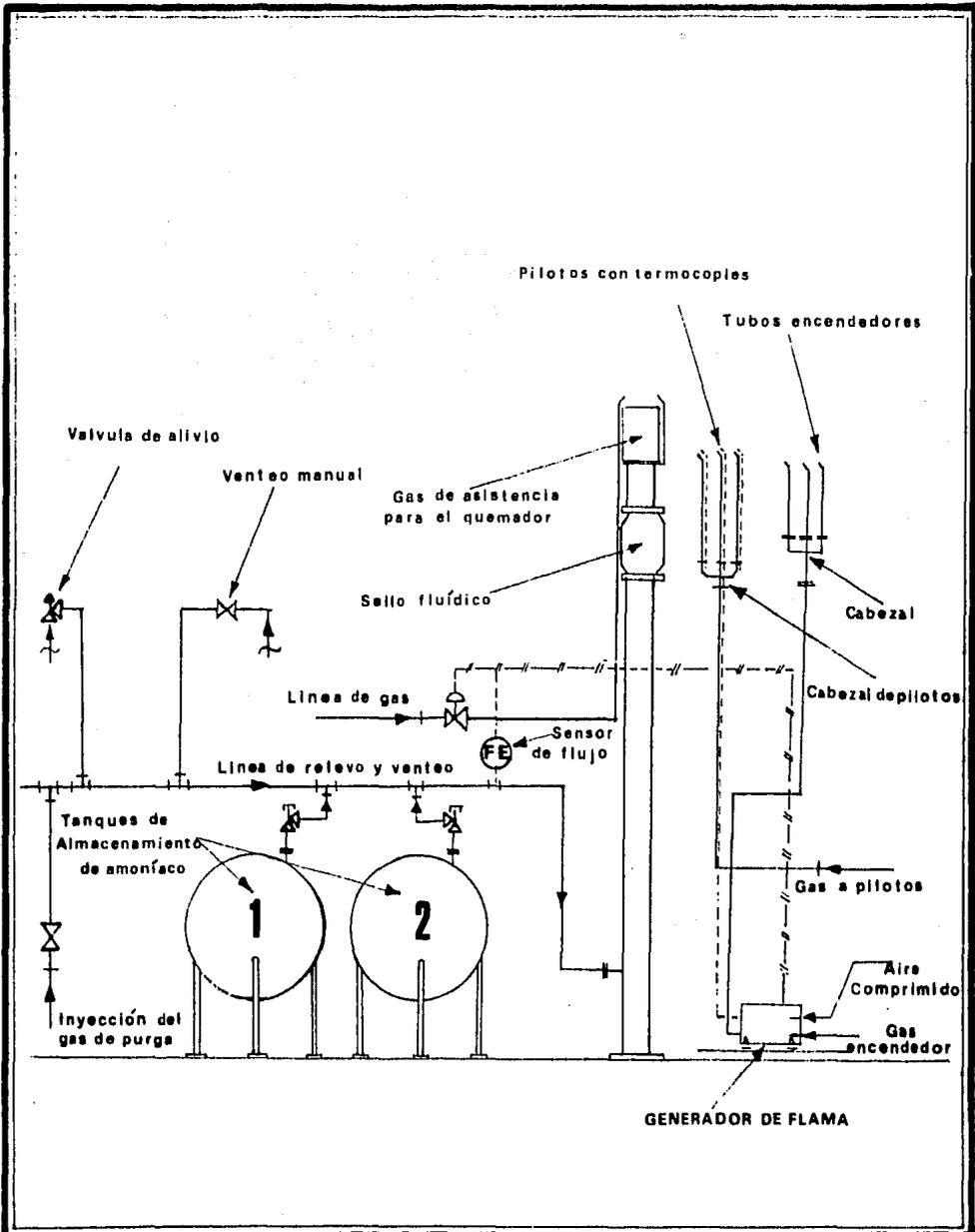
REF. No.5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIG. JESUS SOLIS G. No. 80 CARITINO MORENO

ESC. FIGURA No. III-11 FECHA: ENE-84



PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE
 AMONIACO
 REF. No.5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. Vo. Bo. CARITINO MORENO

Esc. *[Signature]* FIGURA No. III-12 FECHA: ENE-84

Los flujos usuales de corriente de ayuda son:

Vapor o gas combustible: 0.15 a 0.5 libras/libra de hidrocarburo.

Agua: 1 a 5 libras/libra de hidrocarburos, depende del grado de atomización del agua.

El viento también tiene gran efecto sobre el esparido y puede reducir grandemente su efectividad.

Aire: Un soplador utilizará 3 a 7 libras/libra de hidrocarburo para la producción sin humo.

Los servicios auxiliares tales como vapor, gas de asistencia, agua y aire comprimido son necesarios para lograr una alta eficiencia en el quemado del gas sin humo.

Se han desarrollado varios métodos para minimizar la emisión de humo en un quemador elevado y/o de fosa. Con el problema que tenemos actualmente en las grandes ciudades por la contaminación, el hombre se ha preocupado muchísimo por este problema que se debe en gran parte a la combustión de hidrocarburos en motores de combustión interna, quemado de hidrocarburos en calderas u hornos, procesos industriales que normalmente arrojan el carbono en forma de óxido, así como, el tratamiento de efluentes gaseosos que se eliminan por medio de la combustión que se encuentran en refinerías de petróleo y en plantas petroquímicas, entre estos métodos se pueden citar:

- a) Atomización de vapor en el gas.
- b) Inyección de agua esparida.
- c) Soplado de aire.
- d) Distribución de flujo en múltiples quemadores de diseño especial.

En años recientes el hombre ha diseñado sistemas anti-contaminantes que son los denominados "boquilla-eyector", que a través del efecto Coanda producen la inyección a chorro de vapor y aire, que serán instalados alrededor de la boquilla de la punta del quemador. El efecto Coanda será descrito en la sección VI-1.

El diseño esta basado en el concepto de mezcla gas, aire y vapor antes de la combustión, el cual es llevado fuera de la camara de mezcla. Este avance tecnológico ha dado una máxima eficiencia en la inspiración del aire y con el menor nivel de ruido.

Esta boquilla se ilustra y describe en el dibujo anexo fig. No. III-13.

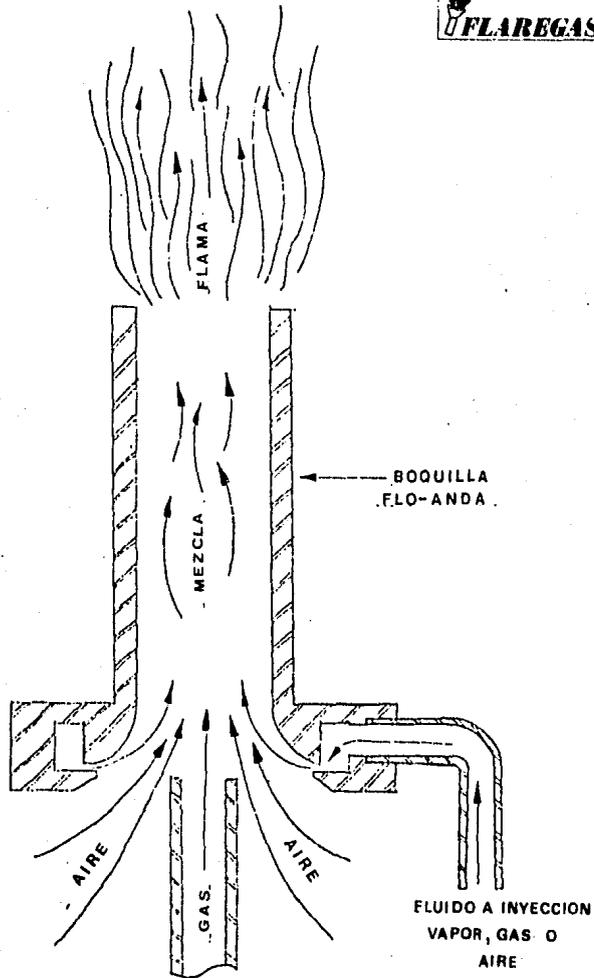
El vapor es distribuido uniformemente en la boquilla -eyector, alrededor de una pequeña cavidad provocando vacío en la boquilla y de esta manera succiona al aire, para que finalmente dentro de la cámara se lleve a cabo la mezcla como medio de enfriamiento prolongando el trabajo de vida de la unidad.

La misma cámara de mezclado está limitada en su lado interno con un aislamiento de material refractario para proteger el casco de que ésta se llegase a quemar.

Las partes de la boquilla-eyector expuestas directamente con la flama son fabricadas de las más alta calidad, en materiales tales como acero inoxidable austénitico de la serie 300, resistentes a la alta temperatura, La caja de vapor es fabricada en material de acero inoxidable tipo 327, estabilizado con niobio (Nb), durante la fabricación se incluye radiografiado, prueba ultrasónica y examen metalúrgico de tinta penetrante.

La más simple aproximación para la combustión sin humo, es considerar el principio fundamental de la reacción química -

Boquilla (Flo-Anda) para producir una combustión de
rendimiento elevado



BOQUILLA-EYECTOR (Flo-Anda)

REF. No.11

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G.

Vo. Bo. CARITINO MORENO

Esc. *[Signature]*

FIGURA No. III-13

FECHA: ENE-84

entre los hidrocarburos y el aire.

El oxígeno se combina preferencialmente con los átomos de hidrógeno unidos a los átomos de carbono en la cadena hidrocarbonada y la reacción del carbono con el oxígeno aparece como una reacción secundaria, de la misma forma en que las ramas de un árbol se prenden antes de que sea consumido el tronco, de acuerdo a las siguientes reacciones químicas:

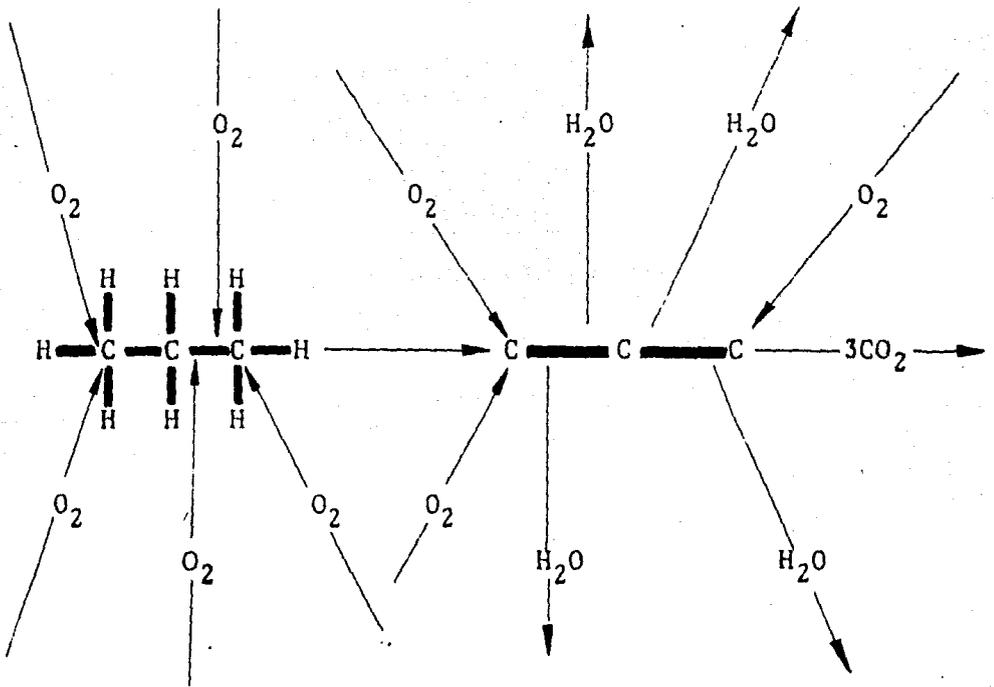


FIG. III-14

La cadena larga de hidrocarburos que contenga varias-ramas puede ser atacada en varios puntos y romperlos en pequeñas cadenas antes de consumirlos totalmente.

Si la cadena de átomos de carbono se divide por la al

ta temperatura de la reacción de combustión $H_2 + O$, entonces - la posibilidad de producir carbono elemental se incrementa; a menos que ese carbono no reaccione con el oxígeno, aparecerá - como humo.

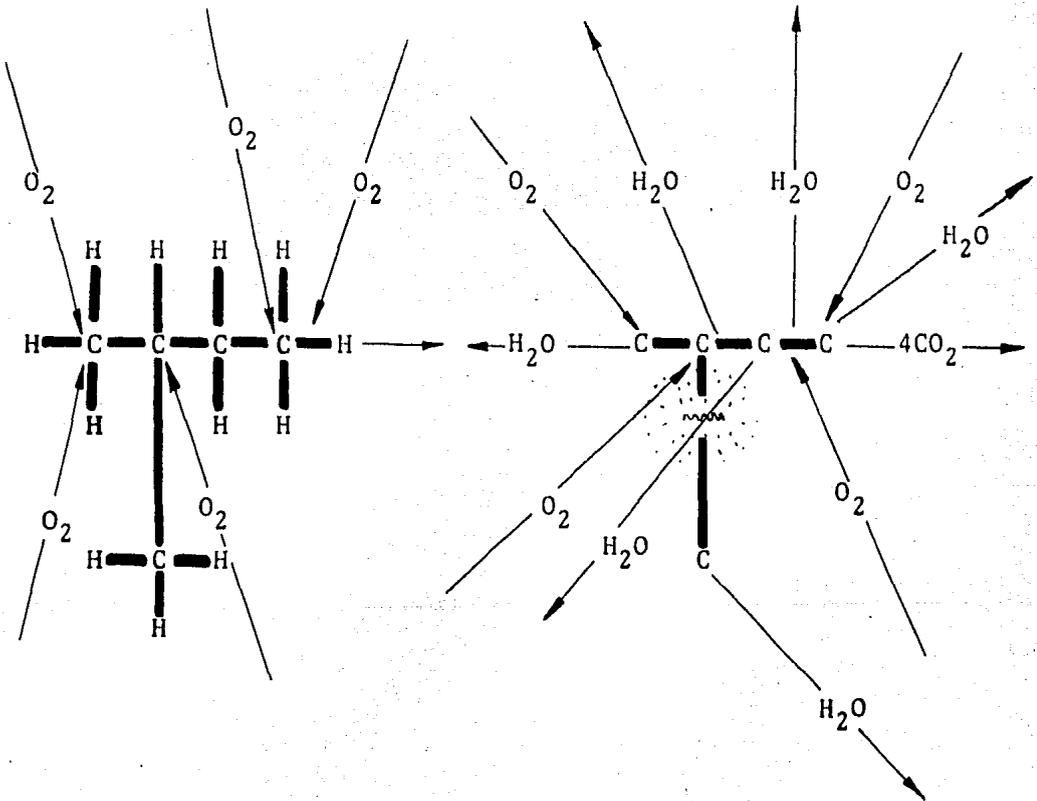


FIG. III-15

La cantidad de carbono formado depende de la estructura molecular de hidrocarburos. Una cadena parafínica larga se dividirá más fácilmente que una cadena corta; Una cadena olefínica con ligaduras insaturadas es más sensible a la temperatura, un anillo aromático combinará ambas desventajas de tener -

una cadena larga y ligaduras insaturadas tendiendo a producir un gran porcentaje de humo

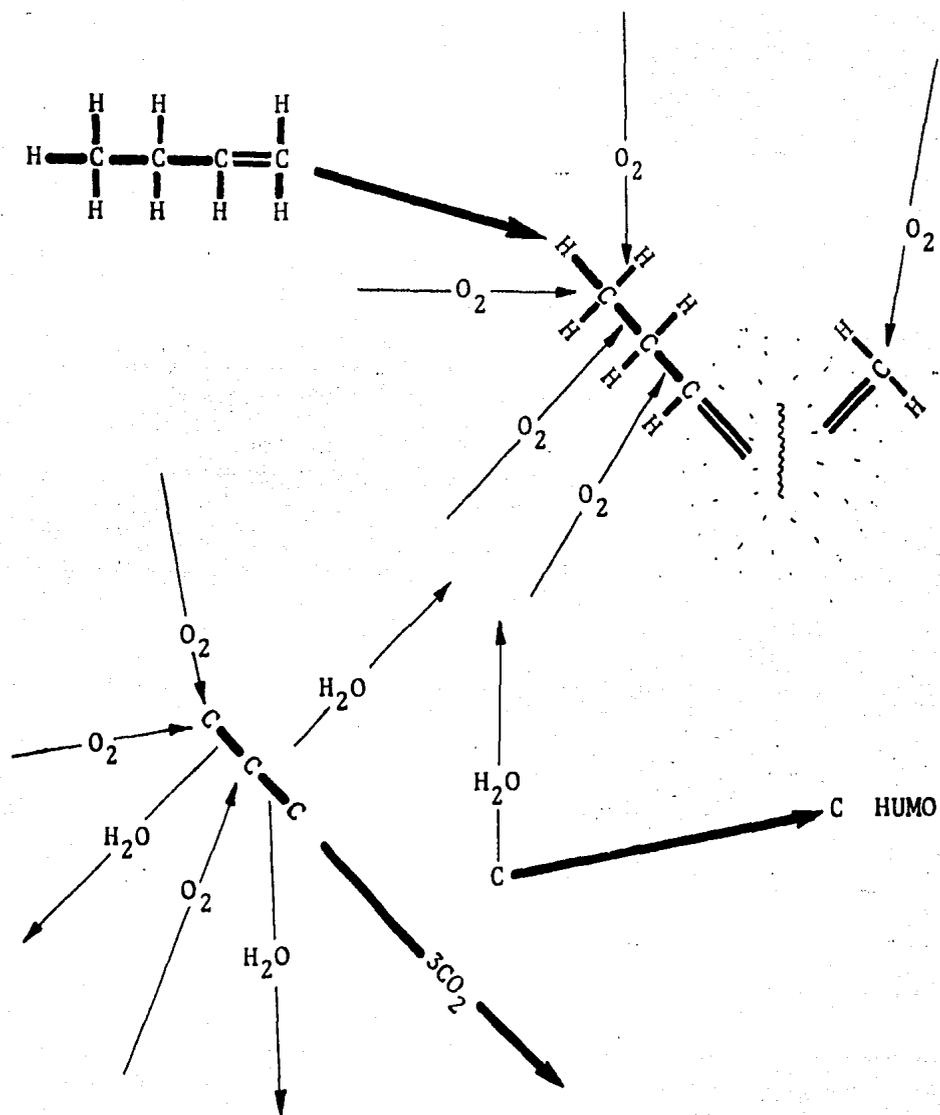


FIG. III-16

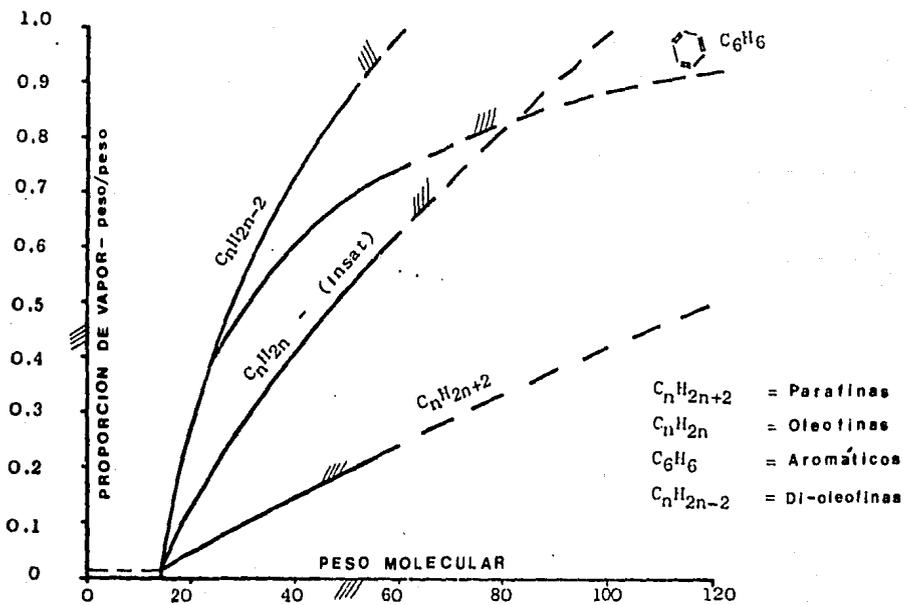
La operación de la boquilla-eyector en un extenso rango de gases ha proporcionado información sobre relaciones vapor/gas para la combustión sin humo. Esto ha sido demostrado en pequeñas y grandes escalas de pruebas y los resultados operacionales de - muestran que la boquilla-eyector funciona con óptima eficiencia- de arrastre de aire cuando la presión de operación del vapor es- mayor o igual a 50 PSIG. A esta presión una boquilla-eyector, -- arroja en la boquilla del quemador elevado un volumen de aire, a proximadamente 16 veces de las condiciones de inyección del va - por.

Por eso selecciona un diseño máximo de presión de 80 a - 100 PSIG que permite conservar la boquilla-eyector sin estar ex- puesta a rangos operacionales bajos.

Las pruebas con distintas relaciones de vapor han permi tido clasificar a las boquillas por tamaño y hace posible la as piración mecánica de una cantidad de vapor lo cual permite clasi ficarlas por tamaño.

Las curvas de la gráfica en la fig. No. III-17, están - diseñadas para indicar razones de operaciones prácticas y estan- basadas en un dato de sitio. El dato específico ha sido obtenido en los hidrocarburos más usuales con pesos moleculares hasta a - proximadamente de 60. Las curvas fuera de este peso molecular -- son producidas por extrapolación en la base de incrementos igua- les en requerimientos de vapor con el incremento del número de á tomos de carbono.

En general, el requerimiento de vapor para la boquilla- eyector es menor que otros diseños. Como un ejemplo específico - de esta, es posible referirse al butadieno del cual han hecho -- pruebas controladas bajo la dirección de la I C I Wilton de In- glaterra. Una razón vapor/butadieno en exceso de 1 peso/peso es- normal en una planta empleando la inyección externa de vapor en-



RELACIONES VAPOR/HIDROCARBURO

REF. No.12

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

Dir. JESUS SOLIS G.

Vs. CARITINO MORENO

ESC.

770/14/8 AG. III 17

FECMA: ENE-84

las boquillas, considerando pruebas producidas en el rango de razones de 0.67 peso/peso a 1.05 máximo con mejores resultados alrededor de 0.75 peso/peso. La proposición se refiere a 0.9 de la gráfica, para este gas en particular asegura suficiente disponibilidad de vapor con un margen de sobrecapacidad. Similarmente, una prueba estimada de propileno puede observarse que requiere 0.6 peso/peso y se demuestra satisfactoriamente que el rango de 0.315 a 0.47 también se cumple con lecturas medias de alrededor de 0.4 peso/peso.

III-3-1 Ejemplo.

Pronosticar el valor de vapor/hidrocarburos para una boquilla de quemador compuesta por una serie de "boquillas-eyector", el gas tiene la siguiente composición en % Peso.

CH ₄	2 % Peso	CH ₄	0.01 x 0.02
C ₂ H ₄	4 % Peso	C ₂ H ₄	0.26 x 0.04 = 0.01
C ₂ H ₆	18 % Peso	C ₂ H ₆	0.10 x 0.18 = 0.02
C ₃ H ₆	67 % Peso	C ₃ H ₆	0.44 x 0.67 = 0.30
C ₃ H ₈	5 % Peso	C ₃ H ₈	0.17 x 0.05 = 0.01
C ₄ H ₈	3 % Peso	C ₄ H ₈	0.58 x 0.05 = 0.02
C ₅ ⁺	1 % Peso	C ₅ ⁺	0.60 x 0.01 = 0.01
			0.37

El valor final para la razón de vapor es 0.37 peso/peso, obtenido de la gráfica contra peso molecular.

Anteriormente los experimentos en razones de vapor estaban vinculados con la producción de humo al peso molecular (de gases de refinería mezclados) o al grado de insaturación, pero evidentemente no tienen combinación las dos. Consecuentemente, la comparación con resultados empíricos es difícil. De cualquier mo-

do deberán aparecer datos publicados de una situación en que los rangos de vapor necesario para la operación sin humo usen inyección de vapor por el centro de la boquilla estando estos invariablemente en el rango de 1 a 1.5 libras/libras de hidrocarburo, y que la inyección de vapor es frecuentemente 30 % en exceso para la boquilla-eyector con resultados de máxima eficiencia y en algunos casos de 10 a 15 % en exceso.

El número de boquillas-eyector depende mucho del diámetro del quemador y de la cantidad de gas a tratar.

a) Atomización de vapor en el gas.

Una excesiva inyección de vapor, tendrá como resultado un incremento en la emisión de hidrocarburos sin quemar.

De aquí que se calcule la dosificación del vapor de agua necesaria por la siguiente ecuación:

$$W_{\text{vapor}} = W_{\text{hc}} \left[0.68 - \frac{10.8}{M} \right] \quad (\text{Ref. No. 3})$$

Donde:

W_{vapor} = Libras/hora de vapor de agua.

W_{hc} = Libras/hora de hidrocarburos.

M = Peso molecular de hidrocarburos a quemar.

b) Agua espreada.

El método de agua espreada fué utilizado con un quemador de 4 pulgadas de diámetro tratando gas natural, propano, propileno. La relación de agua finalmente fué 0 a 5 (en peso).

Al igual que el vapor el exceso puede ocasionar la combustión incompleta de hidrocarburos.

Un problema adicional es ocasionado cuando se esprea agua, el espreador ocasiona bajo momento y no se puede mantener la flama dentro de la zona de inyección, cuando se operá con viento moderado, produciendose humo. Un amplio ángulo de espreado disminuye este problema.

La cantidad de agua empleada debe ser cuidadosamente estudiada pues gran parte de ella puede pasar a través de la flama sin que esta sea evaporada.

c) Soplado de aire.

Este tipo de quemador elevado utiliza una veleta sopladora axial colocada en la parte inferior de la chimenea, es muy ideal donde no esta disponible el uso de vapor. El soplador está localizado en el brazo de la chimenea cerca de la base. Ver fig. No. III-18.

Los sopladores de aire para quemadores sin humo producen una eficiente combustión con bajos niveles de ruido para amplios rangos de flujo y composición de gas.

El ventilador del quemador produce aire suficiente para provocar una turbulencia necesaria y formar la completa oxidación del gas efluente.

El soplador produce tambien un viento vertical que ayudará a mantener la flama en la zona de inyección aún cuando se opere a través de viento moderado.

d) Distribución de flujo en múltiples quemadores de diseño especial.

Este tipo de quemadores tiene un manifold que distri-

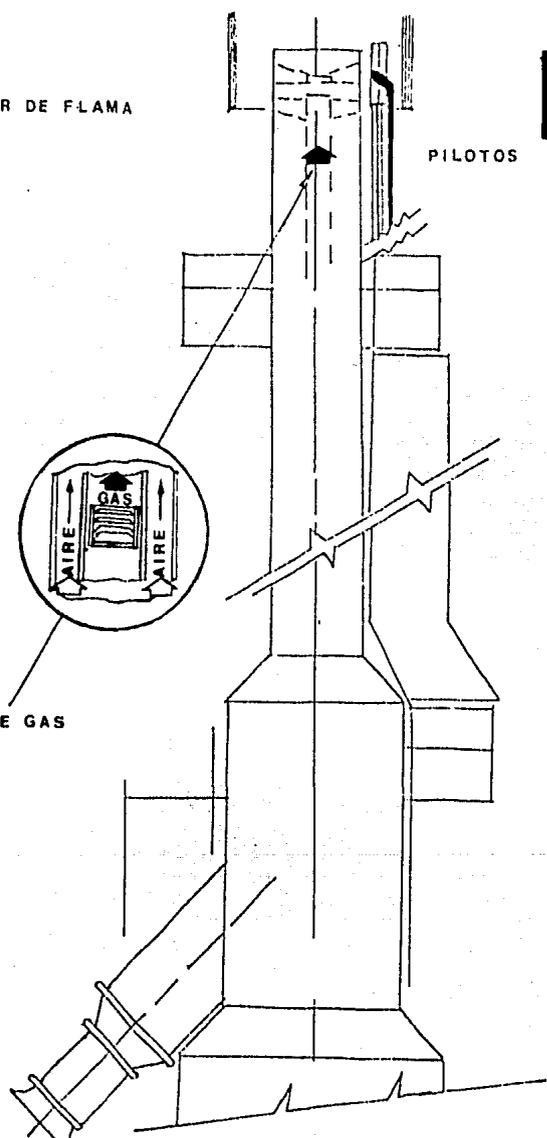
RETENEDOR DE FLAMA



PILOTOS



SELLO DE GAS



SOPLADOR DE AIRE

QUEMADOR ELEVADO CON SOPLADOR

REF. No.16

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G.

Vo. Co. CARITINO MORENO

ESC.

FIGURA No. III-18

FECHA: ENE-84

buye un gran número de boquillas del tipo "a chorro" (jet) de alta velocidad, éstas no requieren corrientes de ayuda y se aplican únicamente en quemadores - de fosa, que serán tratados en el siguiente capítulo.

El tipo de boquillas y el dimensionamiento de las mismas, será visto más ampliamente en el capítulo No. VI.

CAPITULO IV

QUEMADORES DE FOSA DE EMERGENCIA, GROUND FLARE (PISO), TIPO "VELITAS" (PARRILLA) Y MULTIJET.

IV-1 DEFINICION DE QUEMADORES DE FOSA

En el quemador de fosa, la combustión es llevada a cabo a nivel de piso y los efluentes podrán tratarse y quemarse (dependiendo del tipo de quemador) con o sin humo. Aquí el resplandor de la flama y la radiación que emite esta, se le resguarda en una fosa (alberca) o si el efluente es quemado a nivel de piso (superficie), se utilizan estructuras bardeadas a fin de confinar el fuego dentro de dicha área. Las normas para el tratamiento del fuego son descritas en el AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE API RP 520, Parte I, sección 6, Primera Edición, Septiembre de 1969.

Esta publicación toma en consideración para los diseños de sistemas de desfuegos las extensiones sometidas a fuego. La experiencia indica que un fuego puede ser confinado -- dentro de una área de 2,500 pies cuadrados (233 metros cuadrados).

Los quemadores de fosa más importantes en refinerías de petróleo son los siguientes:

- 1.- Quemador de fosa de emergencia.
- 2.- Quemador de fosa de piso.
- 3.- Quemador de fosa de parrilla.
- 4.- Quemador de fosa multijet.

IV-2 DESCRIPCION DEL QUEMADOR DE FOSA DE EMERGENCIA

El quemador de fosa de emergencia es muy útil para - eliminar corrientes de gas de deshecho que de ninguna manera - es posible enviarlos directamente al quemador elevado. Estos - efluentes a tratar son, en volumen relativamente bajo y una - fosa puede tener dependiendo del área, un número tal de boqui - llas de quemado que cubra cualquier emergencia.

Los principales componentes de un quemador de fosa - de emergencia con o sin humo son los siguientes:

- a) Boquilla de quemado con o sin humo.
- b) Sello interno flúidico.
- c) Cabezal distribuidor de gases.
- d) Sistema de ignición.

La descripción de cada componente es la siguiente:

a) La fosa con humo posee una boquilla exactamente - igual a la descrita en la sección III-2, y esta dispuesta ho - rizontalmente a la cual se le ha protegido internamente con - refractario, esta se le puede remover de tal manera que se le puede dar el mantenimiento adecuado; La boquilla sin humo es - para tratar hidrocarburos de doble ligadura que producen humo al momento de la combustión y únicamente se le han adaptado - el tipo de boquilla-eyector a su alrededor.

b) El sello interno es un sistema de seguridad que - se le ha adaptado a la boquilla y tiene exactamente la misma - función que una válvula de retención (check), el sello consis - te de una serie de mamparas de tal manera que tienden a evi - tar el retroceso de la flama y minimizar el gas de ayuda.

c) El cabezal de distribución de gas consiste de una

reducción "cónica" acoplado en el quemador y ayuda a deslizar uniformemente el gas directamente al quemador.

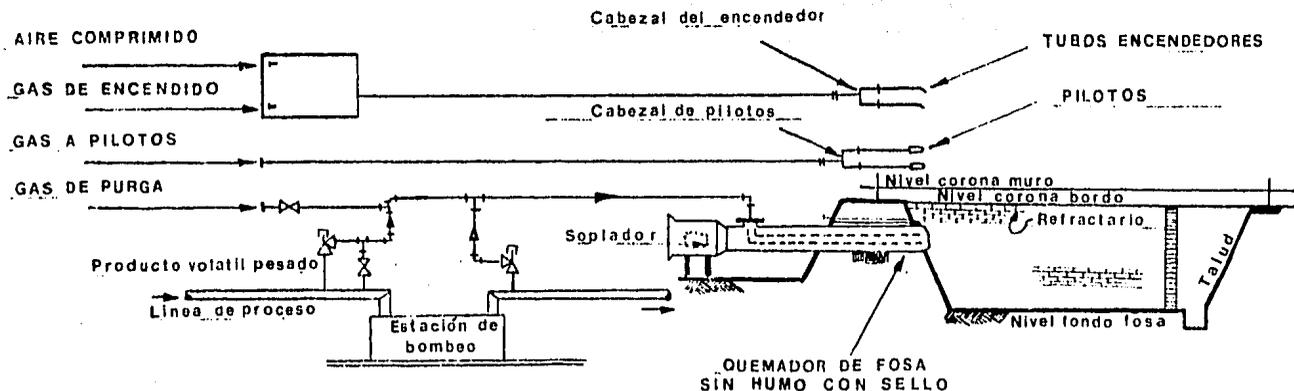
d) El sistema de ignición consiste de los pilotos de encendido y su unidad de encendido incorporados al quemador para el encendido manual o automático del quemador.

El quemador de emergencia es muy usado en estaciones de bombeo, estaciones de compresión, donde se requiere desfogar cantidades variables de efluentes gaseosos y en su caso -- pueden llegar efluentes líquidos que pueden ser quemados sin peligro alguno. Ver fig. No. IV-1.

El diseño del conjunto de quemadores de emergencia es muy similar a los quemadores elevados y se requiere esencialmente de los mismos sistemas auxiliares. La principal diferencia es que en el quemador de fosa no se requiere una estructura de soporte, el cual puede proporcionar considerables ventajas. La primordial desventaja es que el quemador de fosa debe tener una fosa retirada de la refinería con los medios necesarios para el desfogue. En este caso se requiere de un terreno bastante grande. Dependiendo del calor liberado, la mínima distancia circunvecina libre en un quemador puede variar de 250 a 500 pies. Una ventaja del quemador de fosa es la facilidad de su mantenimiento, los diseños especiales más notables pueden ser incorporados lo cual no es posible en un quemador elevado. Por ejemplo, si el resplandor de la flama en un quemador es defectuoso, puede construirse un resguardo para la flama.

Como ya se mencionó el quemador de fosa es muy costoso con respecto al quemador elevado y requiere de una planeación, en lo que se refiere a diseño, dimensionamiento de la fosa, cantidad de gas/líquido a tratar, plan y arreglo general de equipo cercano a la fosa, terreno, etc. Su costo inicial es alto pero también lo es el nivel de recuperación de la inversión.

QUEMADOR DE FOSA DE EMERGENCIA



BOQUILLA DE EMERGENCIA EN UNA FOSA

REF. No. 5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA
TESIS PROFESIONAL

Por: JESUS SOLIS G. Por: CARITINO MORENO

Esc. FIGURA No. IV-1 FECHA. FNF-84

Puede presentarse el caso de desfuegos esporádicos e intermitentes; en una flama puede verse que el desfuego forma un torbellino de gran intensidad de radiación, si esto ocurre, lo recomendable es disponer de agua por medio de una manguera, y rociar a presión a un lado de la fosa "cortina de agua", para evitar que la radiación llegue a afectar a los equipos y/o personal que se encuentren cerca.

IV-3 DESCRIPCION DEL QUEMADOR DE FOSA GROUND FLARE (PISO)

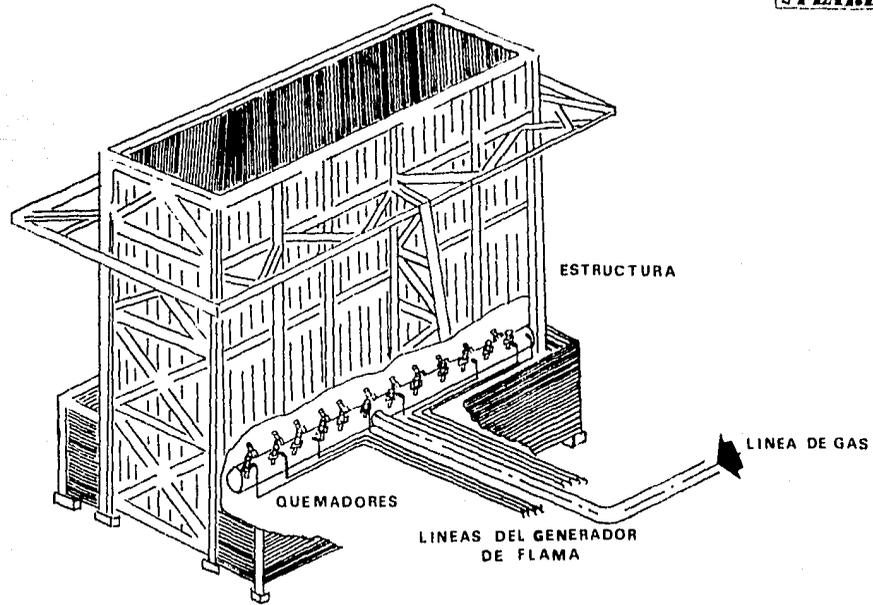
El quemador de fosa para piso (ground flare) consiste de un conjunto cámaras de combustión controladas, que queman gases sin la producción de humo, la flama no se logra apreciar a distancia siendo esta invisible.

Estos quemadores utilizan un conjunto de boquillas --eyector que son asistidas con la corriente de ayuda de vapor, --descritas en el capítulo III-3 QUEMADORES ELEVADOS SIN HUMO.

Se le instala generalmente a nivel de piso y el cabezal distribuidor de gas tendrá, a lo largo de éste, el conjunto de boquillas necesarias para la combustión. Este quemador ocupa menos espacio, que un quemador de fosa tipo emergencia o un quemador de fosa tipo parrilla.

La flama en este quemador se le ha protegido con estructuras de acero formando una caja rectangular que alrededor se le cubre y aísla con tabique refractario. La altura máxima es de 10 metros por 6 metros de ancho, el largo puede variar de pendiendo de la cantidad de gas a tratar. Fig. No. IV-2.

Si el flujo de gas en una situación de emergencia es superior al diseño del quemador de piso, el exceso de gas se tratará antes de la llegada a los quemadores, por medio de un



QUEMADOR DE PISO (GROUND FLARE)

REF. No.11

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

DI. JESUS SOLIS G. ^{VI. 02} CARITINO MORENO

Esc. *X* FIGURA No. IV-2 FECHA: ENE-84

tanque separador o un tanque sello de agua y será desviado después de este, directamente al quemador elevado o en su caso, si la planta cuenta con un Sistema de Recuperación de gases y/o líquidos, estos deben de ser recuperados y volver a recircular esta corriente al proceso.

Un estudio más detallado de los tanques separadores, será tratado en el capítulo V. Por el momento nos concretaremos a describir a los quemadores de fosa.

Los quemadores de piso pueden tener chimeneas rectangulares, chimenea cilíndrica o chimenea hexagonal.

El quemador de piso circular, es una estructura cuya chimenea exterior puede alcanzar alturas de 130 pies (40 metros) por 50 pies (16 metros) de diámetro. Estas dimensiones dependen mucho de la cantidad de efluente a tratar.

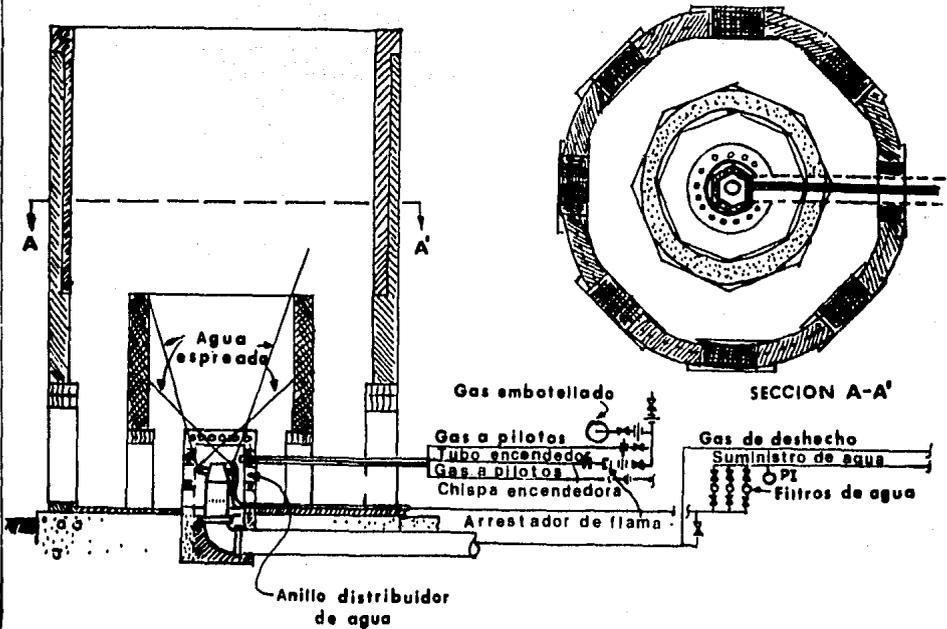
Como puede apreciarse en la fig. No. IV-3, el quemador consiste básicamente de tres chimeneas:

La chimenea interna que guarda el conjunto de quemadores, es la cámara de combustión, esta contiene los quemadores, los pilotos necesarios para la ignición y el anillo distribuidor de agua.

La chimenea intermedia, su propósito principal es el confinar el abanico de agua, de tal manera que el agua se mezcle íntimamente con los gases de salida.

La chimenea exterior confina la flama y la dirige hacia arriba.

Este quemador en lugar de vapor, utiliza el efecto de de esparido con agua a fin de dispersar los gases de combustión.



SE RECOMIENDAN SEIS ESPREADORES Y DOS PILOTOS

QUEMADOR DE PISO CON CHIMENEA
CIRCULAR

REF. No.4

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

Por: JESUS SOLIS G.

Por: CARITINO MORENO

Esc:

FIGURA No

IV-3

FECHA:

ENE 84

El arqueo de las chimeneas intermedia y exterior deberá ser de suficiente tamaño para que fluya el 150 % de la cantidad teórica del aire requerido para llevar a cabo la combustión completa.

El tiro para las chimeneas intermedia y exterior podrá ser calculado en la forma siguiente:

Tiro teórico inducido.

$$h_w = \text{Pulgadas de agua} = H \left[\frac{W_e - W_h}{W_w} \right] 12 \quad (\text{Ref. No. 4})$$

Donde:

H = Altura de la chimenea en pies.

W_e = Densidad del aire frío en libras/pie³.

W_h = Densidad del aire caliente en la chimenea en libras/pie³.

W_w = Densidad del agua en libras/pie³.

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

$$S = \frac{W}{457 C Y \sqrt{h_w \rho_a}} \quad (\text{Ref. No. 4})$$

Donde:

S = Área del arqueo en pies cuadrados.

W = Flujo de gas efluente a tratar en libras/hora.

C = Coeficiente de descarga (Adimensional), para este tipo de quemador es igual a 0.6.

γ = Factor de expansión (Adimensional), usar $\gamma = 1.0$.

h_w = Presión diferencial a través del arqueo en pulgadas-de agua, obtenida de la ecuación anterior.

ρ_a = Densidad del aire @ 60°F en libras/pie³.

Los estudios hechos en este tipo de quemador, indican -- que la presión de agua es una variable más que la cantidad de agua espreada. En general, una presión más alta en el agua desarrollará una mejor mezcla de aire y gas.

Se requerirá una mayor cantidad de agua conforme aumente el peso molecular de los hidrocarburos y el contenido de elementos insaturados en la cadena hidrocarbonada.

El quemador de piso hexagonal consiste de una estructura de acero hexagonal, recubierta en el interior de material refractario, en el piso se localizan el conjunto de quemadores en forma de "velitas", este tipo de quemador, al igual que los dos anteriores ofrece una excelente dispersión del efluente a tratar. Normalmente usa corriente de vapor suficiente para evitar la formación de humo.

IV-4 DESCRIPCION DEL QUEMADOR DE FOSA TIPO "VELITAS" (PARRILLA)

Este tipo de quemador de gran efectividad para eliminar por combustión sin humo, se le utiliza para eliminar gases de deshecho en volumen relativamente bajo.

En este quemador la corriente de gas es dividida en etapas de quemado por medio de válvulas controladoras debidamente escalonadas en diferentes rangos de presión, cada válvula está instalada a la entrada del cabezal de quemado y protegida de la

radiación producida por el quemador.

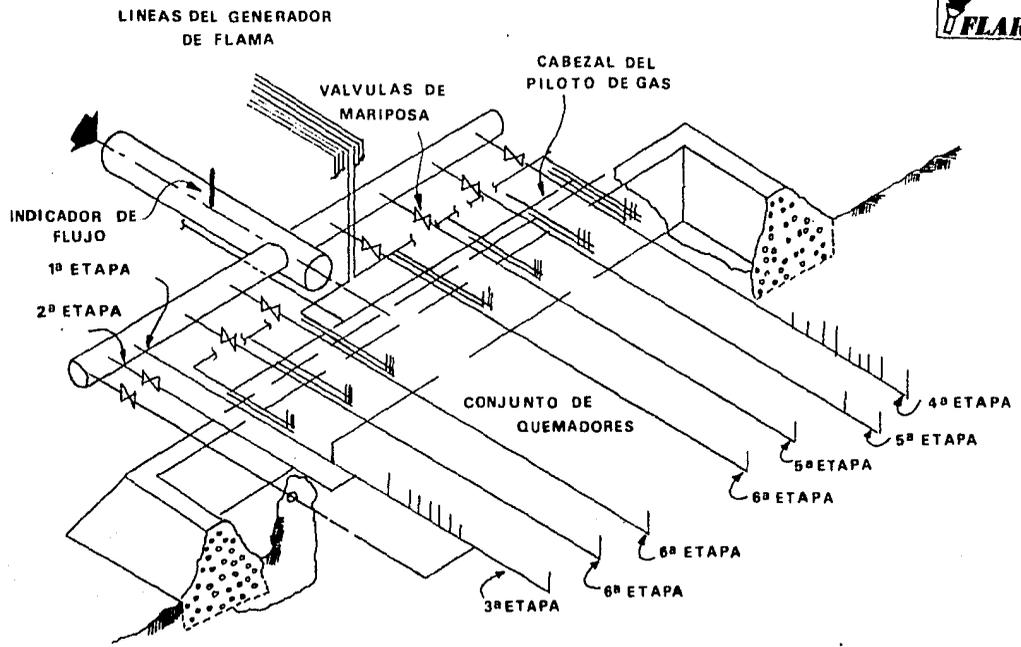
Numerosos tubos verticales (riser) emergen del cabezal de quemado (dividiendo aún más la corriente de gas). En la punta del "riser" es quemada una pequeña cantidad de gas, en una tubería especialmente diseñada para crear turbulencia y velocidad en la salida, y consecuentemente quemarse sin humo.

Este quemador es diseñado para mezclas de hidrocarburos parafínicos. La combustión se lleva a cabo en numerosas boquillas de quemado, debidamente espaciadas a modo que se permita la adecuada distribución de aire comprimido a todos los quemadores.

Las etapas de quemado, se requieren debido a las limitaciones del rango por debajo del nivel normal de diseño. Se logra un rango de 6 a 1 usando seis etapas con válvulas del tipo-mariposa abriendo y cerrando con señales de un controlador de flujo.

El número de quemadores por etapa se reparte por etapa y deberá de ir en aumento desde la primera etapa que quemará una pequeña cantidad de gas, hasta la última etapa que tendrá un cabezal conteniendo la mayor parte de los quemadores. Esta etapa será la que queme la mitad de capacidad de gas a tratar, en tanto, que las otras etapas juntas quemarán en conjunto la otra mitad de gas. La cantidad de calor liberado en la última etapa será en consecuencia igual al calor liberado en todas las demás etapas juntas, por lo que, a esta etapa se le deberá localizar en el centro de la fosa con el fin de distribuir en toda la fosa la radiación de toda la parrilla en conjunto. Este quemador se ilustra en la fig. No. IV-4.

El número de pilotos necesario será de cuatro, para las cuatro primeras etapas; Dos para la Quinta etapa y tres pa-



QUEMADOR DE FOSA TIPO VELITAS
(Parrilla)

REF. No.11

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G.

VO. BO. CARITINO MORENO

ESC.

FIGURA No. IV-4

FECHA: ENE-84

ra la sexta etapa con sus secciones..

Como los quemadores están suficientemente juntos permiten el encendido en cadena; Por lo que se le ha conocido con el nombre de "velitas".

El quemador de fosa tipo parrilla puede tener las boquillas de emergencia y funcionar simultáneamente; Pero si las boquillas horizontales de emergencia son usadas frecuentemente pueden causar un deterioro en las boquillas de la parrilla por el efecto del calor irradiado.

El diseño de un quemador de fosa tipo parrilla es de responsabilidad entera del fabricante, sin embargo, se pueden seguir ciertos lineamientos a fin de obtener datos cercanos al diseño del fabricante.

Los factores de diseño preliminar son:

- 1.- Cantidad de gas a quemar.
- 2.- Composición del gas a quemar.
- 3.- Temperatura del gas a quemar.
- 4.- Presión del gas a quemar.
- 5.- Turbulencia creada.

IV-5 METODO GENERAL DE DISEÑO

Una vez obtenidos los datos preliminares se procede de la siguiente manera:

- 1.- Dependiendo de la composición del gas y la presión del mismo, el fabricante selecciona el tipo de boquilla y el tamaño de orificio a fin de garantizar una combustión sin humo.
- 2.- Usando una ecuación de orificio para flujos de gases compre

sibles, determinar el área total requerida para el quemador sin humo.

- 3.- De los datos del punto No. 1 en la cual se dió el área de flujo por orificio y del punto No. 2 en la que se obtiene el área total, dividir el valor obtenido en el punto No. 2 entre el punto No. 1 y determinar el número de orificios -- requeridos.
- 4.- Dependiendo de la configuración del quemador (número de orificios por boquilla), determinar el número de boquillas necesarias.
- 5.- Checar el número de quemadores para el área de la fosa en particular. La relación de longitud de la fosa a ancho de la fosa deberá ser 5 a 2 como mínimo.
- 6.- Determinar el número de quemadores por cabezal. Los quemadores son espaciados un pie uno de otro.
- 7.- Los cabezales son separados 10 pies uno de otro para asegurar la mezcla adecuada de gas/aire.
- 8.- Los cabezales son separados 10 pies de las paredes de la fosa a fin de asegurar buena mezcla para la combustión.
- 9.- Las paredes del quemador deberán tener un talud adecuado a fin de prevenir los deslaves ocasionados por el viento, además de facilitar la entrada de aire a la fosa.
- 10.- Determinar el escalonamiento de presión en las válvulas adecuadas al número de quemadores. Deberán usarse válvulas ON-OFF a fin de dejar rápidamente fuera de servicio etapas completas de quemado. Esto deberá hacerse conforme a las variaciones del flujo de gas.

- 11.- Las etapas de quemado son escalonadas en progresión geométrica para asegurar una operación suave en rangos enteros de operación.
- 12.- Determinar el diámetro de los cabezales de quemado para el número de quemadores.
- 13.- De acuerdo al punto anterior, seleccionar el tamaño de válvula adecuado.
- 14.- Checar la expansión térmica en los cabezales y hacer los ajustes necesarios para una operación segura.
- 15.- Determinar la pendiente de los cabezales y el arreglo de drenajes para líquidos entrampados.
- 16.- Checar la altura de la fosa contra la longitud de flama en cada boquilla. La flama deberá ser contenida en la fosa.
- 17.- Checar la radiación para la operación total de la fosa.

En la fosa es necesario la colocación de un muro de ladrillo refractario en cuya parte superior se han colocado láminas de asbesto. Este muro será localizado al principio de la fosa para la debida protección del personal que pueda inspeccionar las válvulas de control.

Para la fosa, es conveniente cubrir el talud con material refractario, y los cabezales de quemado deberán ser cubiertos con grava con el objeto de disminuir la influencia de la radiación.

IV-6 DESCRIPCION DEL QUEMADOR DE FOSA MULTIJET

El quemador de fosa multijet es diseñado para quemar pe-

queñas cantidades de gas de deshecho.

Una operación libre de humo y una combustión completa puede ser lograda sin la ayuda de vapor, agua u otra forma de servicio, utilizando quemadores tipo "JET" de alta velocidad.

Aquí el gas es suministrado por un cabezal de distribución paralelo a la línea de quemadores donde emergen verticalmente.

El flujo de gas es distribuido a través de numerosas boquillas de quemado. La alta velocidad lograda en los conductos espirales de la boquilla de quemado, crearán una alta turbulencia logrando con esto una alta eficiencia de operación.

Este equipo requiere de mantenimiento continuo sobre todo las boquillas de quemado con el objeto de librarlas de material obstruyente que contenga el gas de deshecho.

CAPITULO V

TANQUES DE SELLO Y TANQUES SEPARADORES DE LIQUIDOS, DIMENSIONAMIENTO

V-1 DESCRIPCION DEL TANQUE SELLO

Los tanques de sello y tanques separadores forman en conjunto con los quemadores elevado y/o fosas, el sistema completo de tratamiento de efluentes de una planta petroquímica y refinerías de petróleo. Su uso es muy indispensable por lo siguiente:

- a) Impiden el retroceso de flama.
- b) Previenen el oleaje de efluentes.
- c) Separan y recuperan efluentes.
- d) Desvían el flujo de gas y/o líquido.

El empleo de tanques de agua y tanques separadores ofrecen ventajas que justifican su instalación:

a) Propiamente diseñados ofrecen una seguridad al sistema e impiden el retroceso de la flama por causas que prevalezcan en el sistema. Por ejemplo, si el quemador elevado no cuenta con el sello de gas o sello molecular, el sello de agua del quemador soluciona el problema.

b) El tanque sello posee separadores internos y previene el oleaje de los efluentes por consecuencia de desfogue pico de compresores o caída de presión en las líneas de tuberías que llevan el gas de deshecho a los quemadores, con suficiente turbulencia.

c) Recuperan gran parte de hidrocarburos o productos -

petroquímicos, arrastrados o condensados, que tienen un valor económico y que pueden ser nuevamente recirculados al proceso que se lleva a cabo en la planta.

d) Desvían efluentes líquidos acarreados en la corriente de gas y pueden ser arrojados por el quemador elevado como gotas encendidas.

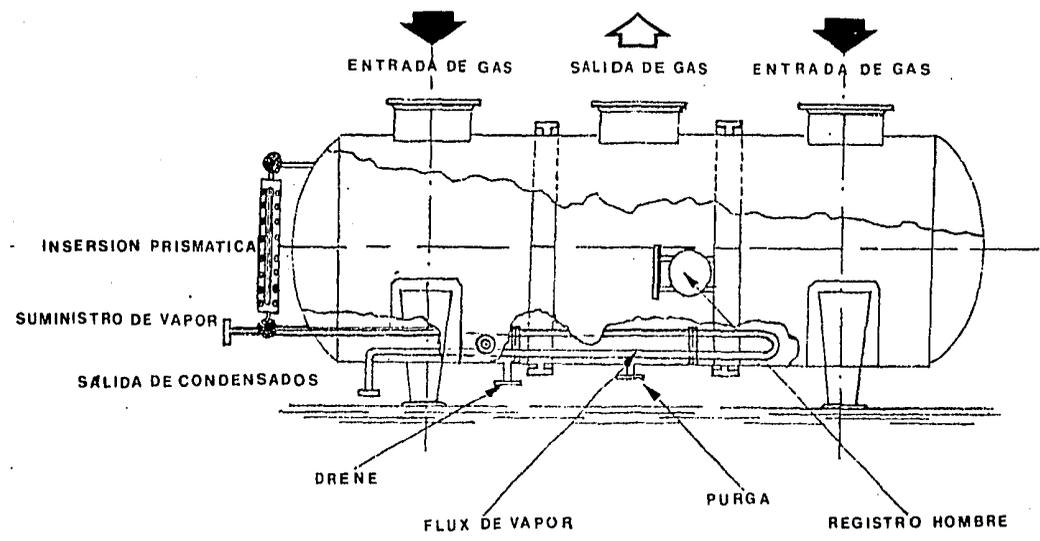
El sello de agua, descrito en la sección III-2 del quemador elevado, se encuentra localizado cerca de la base de la chimenea, su función es barrer y prevenir el retroceso de la flama hacia el área de proceso, originado al minimizarse el desfogue.

Sin embargo, en los quemadores de fosa este sistema de seguridad está separado del quemador como si fuese un sistema independiente.

El diseño de estos equipos es altamente importante porque ofrece una gran seguridad y confiabilidad en el sistema de tratamientos de efluentes. Fig. No. V-1.

V-2 TANQUE SEPARADOR (KNOCK OUT DRUM)

Los cálculos para el dimensionamiento de un tanque separador generalmente son iterativos. El primer paso es determinar el diámetro del tanque que permita la separación de gas-líquido, las partículas líquidas deberán ser separadas cuando el tiempo de residencia del vapor o gas es igual a, o más grande que el tiempo disponible para recorrer la altura vertical del tanque a la velocidad de caída de las partículas líquidas, y la velocidad del gas o vapor deberá ser lo suficientemente baja para permitir que caigan esas partículas. La altura vertical es usualmente considerada como la distancia de superficie líquida. La velocidad del vapor y gas debe ser adecuadamente baja para



TANQUE SEPARADOR (Knock out drum) REF.No.11	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
	FACULTAD DE QUIMICA	
	TESIS PROFESIONAL	
	DVS: JESUS SOLIS G.	Vu. Ds. CARITINO MORENO
ESC. <i>H</i>	TITULO No. V-2	FECHA: ENE-84

evitar que las partículas líquidas sean arrastradas al quemador.

Sin embargo el quemador puede manejar pequeñas gotas líquidas, y la velocidad vertical de caída permitida en el tanque puede separar gotas líquidas de 150 micrones o más grandes.

La velocidad vertical de caída de una partícula en un flujo de gas esta dada por la siguiente ecuación:

$$u_d = 1.15 \sqrt{\frac{g D (\rho_L - \rho_v)}{\rho_v (C)}} \quad (\text{Ref. No. 3})$$

u_d = Velocidad de caída, pies/seg.

g = Aceleración debida a la gravedad.

D = Diámetro de la partícula

ρ_L = Densidad de líquido a condiciones de operación.

ρ_v = Densidad del gas a condiciones de operación.

C = Coeficiente de arrastre.

Esta ecuación es ampliamente aceptada para las formas de separación.

El segundo paso en el dimensionamiento de un tanque separador es considerar el efecto del líquido almacenado. El tiempo de residencia en el tanque está determinado por las necesidades de operación de la planta y la composición de la corriente. Se sugiere un tiempo de residencia de 10 a 30 minutos.

El diseño del recipiente deberá ser considerado cuando se seleccione un tamaño de tanque y puede influenciar la elección entre un tanque horizontal y un tanque vertical. Para condiciones de gran cantidad de líquido arrastrado por un flujo alto, un tanque horizontal es frecuentemente más económico.

A continuación se describe el procedimiento para el diseño y dimensionamiento de tanques separadores:

a) Obtener el flujo de vapor (corriente) en pies cúbicos/segundo (actuales), acfs.

b) Determinar el coeficiente de arrastre "C" de la gráfica anexa, fig. No. V-3, calculando previamente la razón $C(Re)^2$.

c) Calcular la velocidad de caída de partículas de líquido, u_d = pies/segundo.

d) Suponer las dimensiones de un tanque determinado. (Método iterativo).

e) Determinar el área requerida para el líquido almacenado en el tanque.

$$A \text{ (pies}^2\text{)} = \left(\frac{\text{Volumen de líquido almacenado}}{7.48 \text{ Galones/pie}^3} \right) \frac{1}{\text{Largo de tanque}}$$

f) El espacio disponible para vapor se dará por la diferencia con el área total del tanque.

g) Calcular del punto anterior la altura disponible para la caída de partículas líquidas.

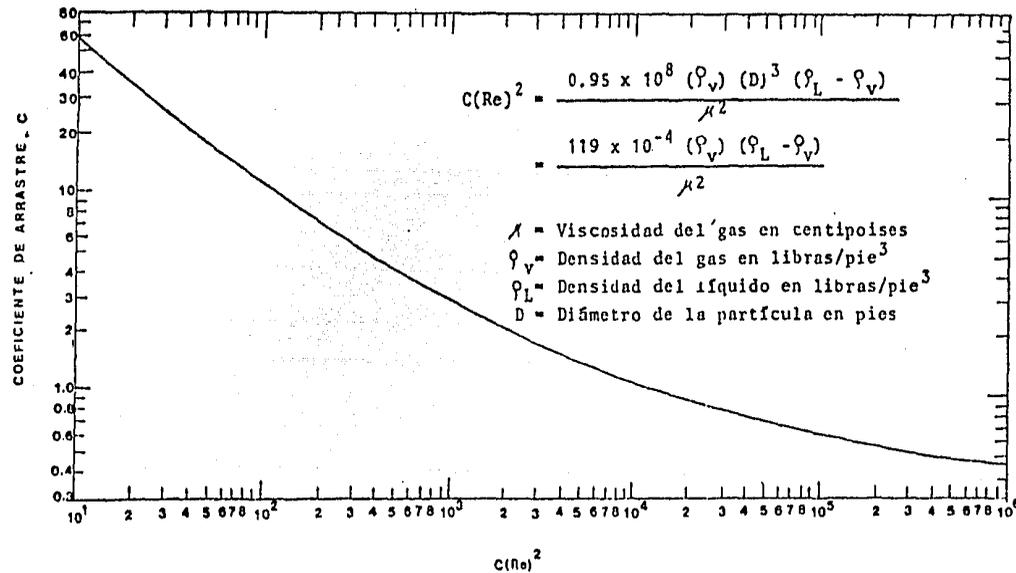
h) Calcular el tiempo en segundos de caída de líquido condensado.

$$t \text{ (seg.)} = \left(\frac{\text{Altura en pulgadas de líquido}}{12 \text{ Pulgadas/pie}} \right) \frac{1}{\text{Vel. caída pie/seg.}}$$

i) La velocidad del vapor en el tanque.



DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE



**GRAFICA PARA EL COEFICIENTE DE
ARRASTRE
REF. No.3**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE QUIMICA	
TESIS PROFESIONAL	
DIB. JESUS SOLIS G.	VS. DIB. CARITINO MORENO
ESC. <i>W</i>	FECHA: ENE-84
V-3	

$$\text{Pies/seg} = \text{Flujo de vapor (pies}^3\text{/seg.)} \left(\frac{1}{\text{área vapor pies}^2} \right)$$

j) La longitud requerida del tanque será:

$$\text{Velocidad vapor (Pies/seg.)} \times \text{Tiempo de caída de líquido (seg.)}$$

k) El área total del tanque es:

$$\frac{\text{Flujo de vapor (Pies}^3\text{/seg. actual)}}{\text{Velocidad de vapor en tanque (pies/seg.)}} = \text{Pies}^2$$

l) Finalmente el diámetro del tanque separador es:

$$\text{Diámetro Tanque} = \sqrt{(\text{área total pies}^2) \frac{4}{\pi}} = \text{pies.}$$

Para el mayor número de aplicaciones petroquímicas, donde el gas es quemado arriba de 35°F (1.6°C), el dimensionamiento de un tanque separador puede ser obtenido por la siguiente ecuación:

$$D = \frac{0.1526}{\rho_v^{1/3}} \sqrt{\frac{W}{d}} \quad (\text{Ref. No. 11})$$

Por lo general, el diámetro del tanque es de 1/2 a 1/3- de su longitud y de 3 a 4.5 veces el diámetro del quemador.

$$L = 3D$$

D= Diámetro interior del tanque separador, pies.

L = Longitud del tanque separador, tomar de tangente a-tangente, pies.

W = Flujo de vapor, libras/hora.

d = Tamaño de la partícula removida, micrones.

ρ_v = Densidad del gas en condiciones de operación libras/pies³.

La densidad del gas se le obtiene por la siguiente relación:

$$\rho_v = \frac{(M) (P)}{10.7 (T)}$$

M = Peso molecular del gas.

P = Presión absoluta del vapor, PSIA.

T = Temperatura del vapor, °R.

Pueden ser consideradas las siguientes suposiciones para el caso del butano.

- 1.- La densidad de la gota líquida es 36.5 libras/pie³.
- 2.- La viscosidad del gas es 0.01 centipoises.
- 3.- El coeficiente de arrastre puede ser estimado por la siguiente relación:

$$C = \frac{11}{Re^{0.5}}$$

Dentro del rango relevante ($30 < Re < 300$), para aplicaciones en refinerías de petróleo.

- 4.- La máxima altura de líquido es de 1/4 del diámetro del tanque separador.

El Hydrocarbon Processing presenta la siguiente fórmula-

para tanques separadores de líquidos (Knock out drum), y es aplicable a tanques donde el flujo de vapor entra por el centro del tanque y sale por los extremos, entonces el diámetro se verá reducido a 0.7 veces del calculado.

La fórmula es la siguiente:

$$W = 360 D^2 \sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_V) (M) (P)}{T}}$$

W = Flujo de vapor, libras/hora.

D = Diámetro del tanque, pies.

ρ_V = Densidad del gas, libras/pie³.

ρ_L = Densidad del líquido separado, libras/pie³.

M = Peso molecular del gas.

P = Presión absoluta del vapor, psia.

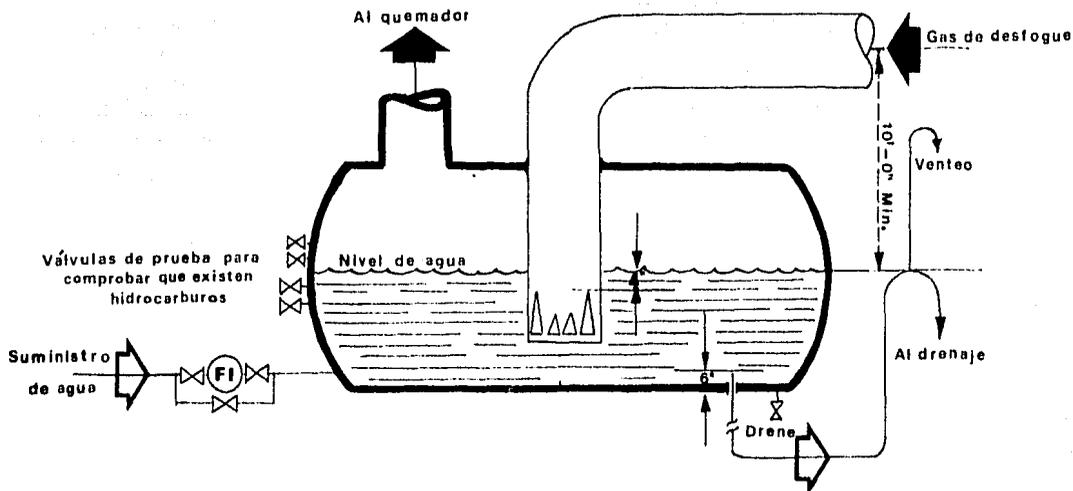
T = Temperatura absoluta del vapor, °R.

V-3 TANQUES DE SELLO

Un tanque de sello es un recipiente al que se le ha puesto agua u otro líquido no inflamable con el fin de extinguir una flama que ha retrocedido desde el quemador (Flash back).

De acuerdo a la fig. No. V-4, el sello dado en el tanque vendrá determinado por la profundidad a que se sumerja el cabezal de desfogue en el líquido. Esto depende de la presión disponible y del efecto requerido.

La relación del área de la tubería de entrada al área libre arriba de la superficie del líquido, será como mínimo de 1 a 3 para prevenir arrastres de líquido al quemador.



TANQUE DE SELLO

REF. No.3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

Dib. JESUS SOLIS G. | Vo. de CARITINO MORENO

Esc. *JK* | FIGURA No. V-4 | FECHA: ENE-84

$$h = \frac{144 P}{\rho}$$

h = Distancia, en pies.

P = Máxima presión de salida del gas en el cabezal de entrada, psig.

ρ = Densidad del líquido sellante, libras/pie³.

El área para el gas arriba de la superficie del líquido deberá ser como mínimo igual al círculo cuyo diámetro D, es igual a 2 veces el diámetro de la tubería de entrada. Esto lo podemos derivar como sigue:

Supóngase un recipiente, el área del recipiente equivale a:

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

Y el área de entrada de la tubería equivale a:

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

Igualando las ecuaciones, el área anular es:

$$\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

La razón sugerida es 1 a 3, por lo que:

$$(D^2 - d^2) = 3d^2 \quad \text{o} \quad D^2 = 4d^2 \quad \text{entonces} \quad D = 2d.$$

Para un tanque vertical la altura H del espacio de va--

por será aproximadamente de 2 a 3 veces el diámetro D, para prevenir arrastre de líquido. Si el tanque usado es horizontal, sugiere una dimensión de 3 pies.

Consideraciones que tendrán que tomarse en cuenta en el diseño de tanques de sello:

- a) Debe de suministrarse un flujo constante de agua al tanque, de tal manera que al circular dentro de él, pueda arrastrar el aceite y más materias atrapadas.
- b) Es recomendable usar placas horizontales perforadas o algo similar con el objeto de que las pulsaciones del gas al formar oleaje, no arrastren líquidos al quemador.
- c) Debe de instalarse una columna de agua en el exterior del tanque con el objeto de mantener automáticamente el nivel del sello de agua. Un equivalente a esto es una válvula de control de nivel en el dren del tanque.
- d) La mayoría de los tanques de sello trabajan a muy bajas presiones, sin embargo deben de ser diseñados a 50 PSIG como mínimo. Un tanque de sello debe de ser diseñado bajo el código ASME, aunque trabaje a una presión mayor de 15 PSIG.
- e) El problema del fuerte burbujeo del gas a través de la tubería sumergida, puede ser disminuído haciendo numerosos cortes en "V" alrededor de la boca del tubo, o instalando un eliminador de arrastre, al menos, de 15 centímetros de espesor.
- f) Para el diseño de las boquillas, soportes e interior

res deben tomarse en cuenta el choque por cargas resultantes de efectos térmicos o expansiones de gas.

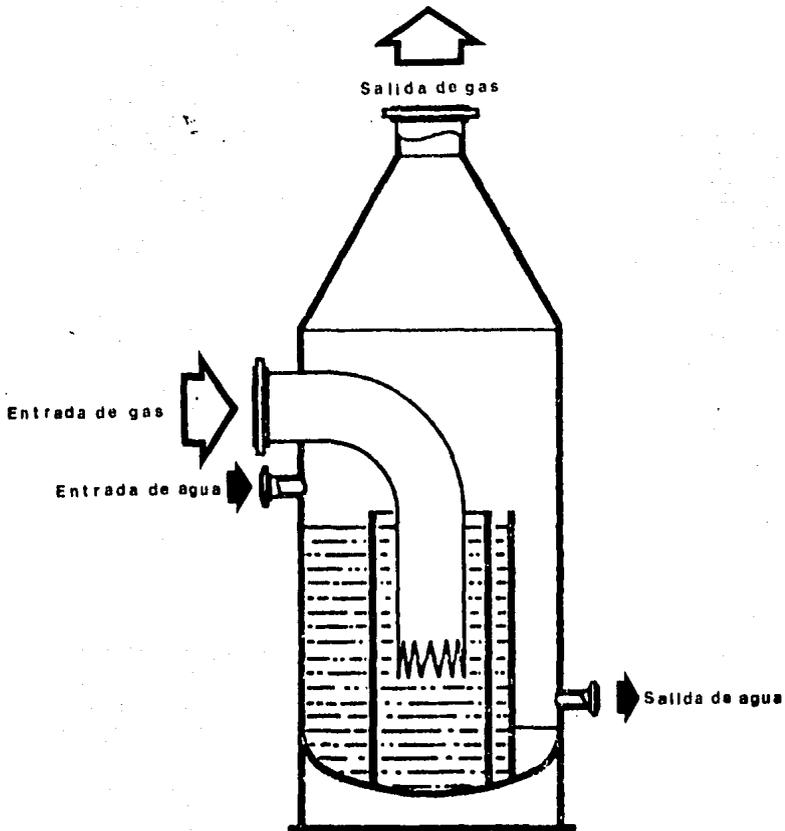
- g) Deben de darse facilidades para su acceso y mantenimiento, tales como boquillas de inspección, regis--tros hombre, que dan fácil acceso al personal para las tareas de limpieza, estas boquillas y dispositivos deberán satisfacer las normas de la OSHA.
- h) Deben utilizarse válvulas tipo ON-OFF para prevenir la ruptura del sello.
- i) Se deberán instalar fuera de la radiación que emita el quemador elevado y/o fosa, la radiación no deberá exceder de 3,000 BTU/Hr pie².

V-4 TANQUE CENTRIFUGO VERTICAL.

Este tipo de separador generalmente es localizado en la base de la chimenea del quemador elevado, sus dimensiones --son más frecuentemente controladas por la estructura de la chimenea y la tuberfa de desfogue.

El separador esta constituido por el tanque con sus boquillas de entrada y salida de desfogues, vertedero de sello de agua, mamparas y baffles separadores de partfculas, válvulas de nivel y drenes apropiados para purga y venteo.

Este tipo de separador como ya mencionamos su función--consiste en dividir y desviar el flujo de efluentes gaseosos y/o líquidos a los quemadores de fosa y sistemas de recuperación--y evita el retroceso de la flama. Este tipo de separador lo podemos ver en la fig. No. V-5.



SELLO DE AGUA

REF. No. 11

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. Vo. Sr. CARITINO MORENO

Esc. *[Signature]*

FIGURA No. V-5

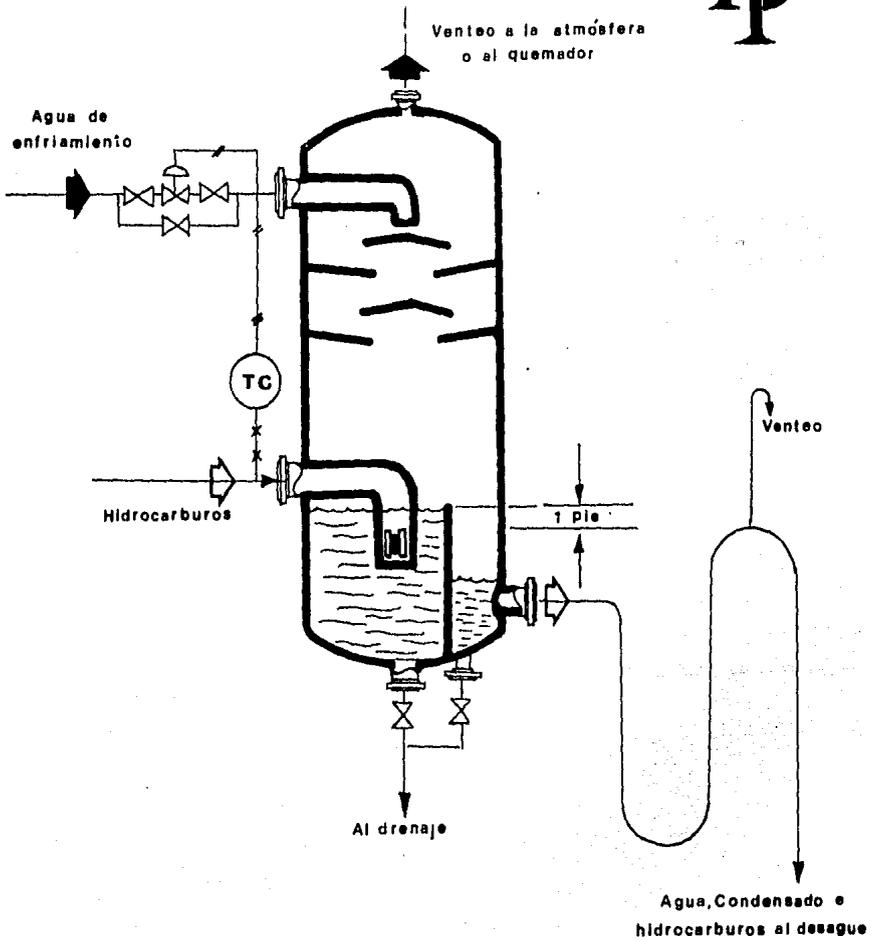
FECHA: ENE-84

V-5 TANQUES DE EXTINCION

El criterio de dimensionamiento para los tanques de extinción dependen en el diseño de las partes internas, carga de líquido, diferencia de condensación y otras características específicas para su instalación en particular que significativamente no son reglas para el dimensionamiento.

Un criterio común es reducir la temperatura de la corriente de salida del líquido y vapor que no deberán exceder el rango de 150°F a 200°F, y típicamente asumir que el porcentaje de líquido no deberá ser mayor de 40 o 50 % en evaporación.

Este tipo de tanque se ilustra en la fig. No. V-6, donde se puede apreciar la instalación típica y se sugiere que el sello debe de ser diseñado para un mínimo de 200 % de presión de operación en el tanque.



TANQUE DE EXTINCIÓN

REF. No. 3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

Dir. JESUS SOLIS G

Vo. Bo. CARITINO MORENO

Esc.

FIGURA No.

V-6

FECHA:

ENE-84

CAPITULO VI

CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE LAS PARTES EN LOS QUEMADORES

VI-1 EL EFECTO COANDA

A partir de este capitulo, es considerada la segunda parte del presente trabajo, porque nos permite profundizar más en el estudio de cada una de las partes de los quemadores como son las boquillas de quemado y los sellos flúidicos de gas.

En las boquillas para quemado de gases, debe de quedar claro para nosotros; qué es el efecto Coanda y como se le aprovecha.

El origen del efecto Coanda se debe a Henry Coanda en el año 1912, con su descubrimiento se ha logrado un avance técnico formidable, y su estudio ha influido mucho en el diseño de los diferentes tipos de boquillas para quemadores sobre todo para los de gran altura, para quemadores de fosa, y no solo en el diseño de estos equipos, también se han desarrollado boquillas eyector que utilizan este mismo efecto por inyección de combustible y aire en automoviles de carreras, automoviles "Rolls Royce", motores para lanchas de navegación, aviones supersónicos y en cohetes interplanetarios.

El efecto Coanda es un efecto de "adhesión de capa", que es provocada cuando el gas es inyectado a alta presión a través de un orificio de área muy estrecha, aquí el gas sigue el perfil-curvo de la superficie adyacente de la boquilla.

Con el descubrimiento del efecto Coanda se han revolucionado las boquillas-eyector para quemadores, obteniéndose una

gran eficiencia en el quemado.

La boquilla-eyector de aire-vapor, descrita en el capítulo III, sección 3, utiliza el efecto Coanda y es denominada "Flo-Anda", ya que provoca que el aire, el vapor y los gases sean premezclados antes de su combustión.

La cantidad de boquillas Flo-Anda requeridas en una boquilla de quemado es determinada por la cantidad de gas a ser tratado y por la cantidad de vapor disponible.

El Flo-Anda es un eyector que no produce ruido gracias al perímetro de su anillo anular por lo que no requiere silenciador, es muy útil para flujo de gases tóxicos, gases que en su composición predominan propano y propileno.

En la fig. No. VI-1 se observa un quemador con una boquilla tipo Indair, como aprovecha el efecto Coanda.

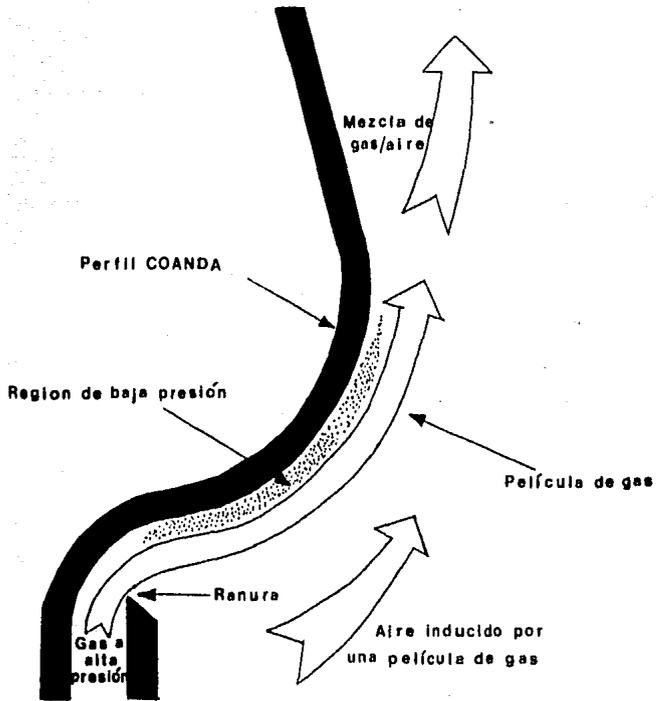
De la figura se puede deducir que el principio del efecto Coanda es simplemente el efecto por el cual un chorro de fluido saliendo por un orificio es atraído a una pared adyacente al chorro, debido a la presión negativa creada por el flujo sobre la pared de la boquilla.

Varias boquillas emplean este principio en diferentes modos, de acuerdo a factores tales como:

- Presión del gas.
- Longitud requerida de flama.
- Nivel de radiación.
- Nivel de ruido.

En algunos casos el aire para la combustión es descargado por la abertura anular junto con el gas; En otros tipos-

HL



EFFECTO "COANDA" EN UNA BOQUILLA
TIPO "INDAIR"
REF. No. 14

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

Dir. JESUS SOLIS G. Vo. B. CARITINO MORENO

Esc.

[Signature]

FIGURA No.

VI-1

FECHA:

ENE-84

se utiliza vapor o aire comprimido. El efecto Coanda es para reducir la longitud de la flama, reducir el nivel de radiación, -- eliminar el humo y producir una flama estable.

Para requerimientos más sofisticados en un rango de alta tecnología, las boquillas de los quemadores han sido perfeccionadas obteniéndose una eficiencia notable. La técnica de quemado que se busca es para obtener una combustión limpia, reducir el nivel de radiación, y esto se consigue con este efecto.

VI-2 CALENTAMIENTO AERODINAMICO Y EL NUMERO DE MACH

Como el efecto Coanda es un efecto aerodinámico, el calentamiento de las boquillas para quemadores es relacionado -- con la transferencia de calor en flujos de alta velocidad. Para quemadores elevados la longitud de la flama debe de ser tomada -- mucho en cuenta, debido a la influencia del viento y sobre todo -- en boquillas que utilizan el efecto Coanda.

Este proceso, que se denomina calentamiento aerodinámico, aumenta la temperatura de la superficie de la boquilla -- colocada dentro de una corriente de fluido de alta velocidad.

Como el calentamiento aerodinámico llega a ser un -- problema serio cuando el fluido es inyectado a presión y a gran -- velocidad, considerando el efecto del viento, a la boquilla se -- le protege con tabique refractario, a fin de disminuir la rapi -- dez de flujo de calor y no se requeme el material de la boquilla.

En el análisis de la transferencia de calor por con -- vección, la naturaleza de flujo es descrita por el número de Rey -- nolds, que es una medida de la razón de las fuerzas de inercia a -- las ruerzas viscosas, lo cual en el flujo de la transferencia de -- calor en flujo de alta velocidad, deben cuando menos, considerar

se dos parámetros adicionales. Tan pronto como la velocidad de un gas llega a ser comparable en magnitud con la rapidez local del sonido en el medio ambiente a_{∞} , la influencia de la compresibilidad en los fenómenos de transferencia de calor y de flujo, pueden ser cuantificados, haciendo uso de un nuevo parámetro.

Este nuevo parámetro es conocido como el número de Mach M_{∞} , definido como la relación de la velocidad del gas V_{∞} , a la velocidad del sonido en el gas.

$$M_{\infty} = \frac{V_{\infty}}{a_{\infty}}$$

El campo de la dinámica de los gases se subdivide de acuerdo al valor del número de Mach, y tiene los siguientes valores.

No. de Mach menor que la unidad; El flujo es subsónico.

No. de Mach mayor que la unidad; El flujo es supersónico.

Para números de Mach extremadamente altos, se habla de flujos hipersónicos.

Se denomina "Número de Mach" por ser el profesor Ernesto Mach, primero en ocuparse en estudiar todo lo relacionado con los movimientos supersónicos.

VI-3 CARACTERISTICAS DE LA FLAMA EN LAS BOQUILLAS

La boquilla de un quemador debe de tener el diámetro adecuado para mantener estable la flama y prevenir su retroceso.

El diseño de la boquilla en quemadores elevados pa-

ra refinerías y plantas petroquímicas, se basa en reglas empíricas tradicionales, y en la experiencia obtenida de quemadores ya instalados. Cuando la velocidad de salida del gas en una boquilla, es muy grande, se favorece el proceso de combustión, al haber mayor mezclado por la turbulencia, pero a mayor velocidad existe -- también el efecto de separación de la flama en la punta de la boquilla. Así, los experimentos muestran que la extinción de la flama en una boquilla ocurre cuando la velocidad del gas de salida -- está en el orden de un 30 % de la velocidad sónica; Para mantener una flama adecuada es recomendable dar al gas una velocidad máxima del 20 % de la velocidad sónica.

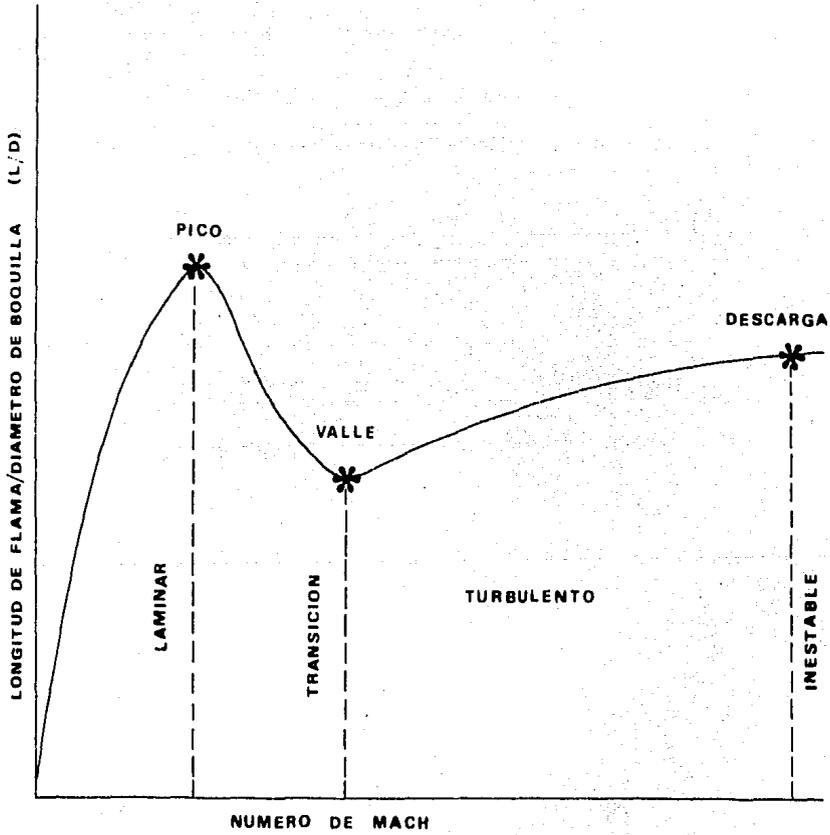
Las características de quemado de flamas son mostradas en la fig. No. VI-2 en la cual se identifican las zonas del espectro de la flama en términos de coordenadas adimensionales. -- (Por la relación (L/D) contra el número de Mach). La altitud de la flama influye en la selección del tamaño adecuado de la boquilla de la chimenea y cuanto calor debe ser disipado.

La fig. No. VI-3 fué desarrollada para estimar los puntos de flama crítica en cada zona de combustión. La fig. No. VI-4 se superpone a la fig. No. VI-3 y en ella se podrá visualizar el perfil de la flama.

Es interesante notar que la altura de la flama puede incrementarse apreciablemente cuando el flujo de gas combustible es reducido suficientemente causando un cambio en la zona laminar.

Para el diseño de la boquilla produciendo la mezcla de gas aire o seleccionar una boquilla para no producir humo, este diseño produce una mezcla parcial debida a la agitación provocada por el vapor, entonces el incremento pico de la flama en la zona laminar puede ser materialmente reducido.

HP



CARACTERISTICAS DEL QUEMADO DE
FLAMAS EN AIRE QUIETO

REF. No. 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL.

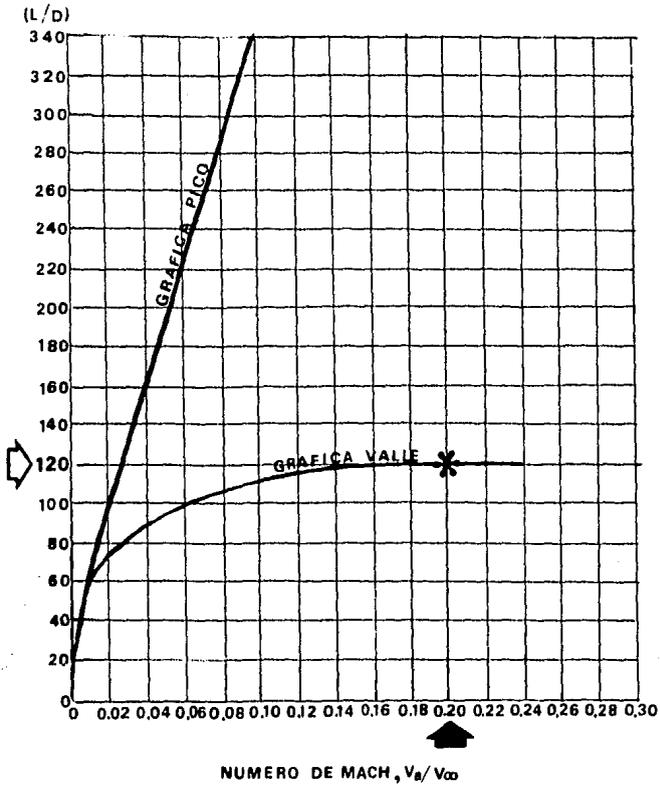
D/3. JESUS SOLIS G. /v. 80 CARITINO MORENO

ESC. *W*

FIGURA No.
VI-2

FECHA:
ENE-84

HP



LOCALIZACION DE LOS PUNTOS PICO,
VALLE Y DESCARGA PARA FLAMAS

REF. No.1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

Dir. JESUS SOLIS G. Vp. Dr. CARITINO MORENO

Esc. *X* Figura No. VI-3 Fecha: ENE-84

La fig. No. VI-4 es útil para la resolución de problemas específicos, ya que permite obtener estimaciones para el número de Reynolds y para el número de Mach en los puntos característicos del perfil de flama.

Pico: Número de Reynolds = 3,000

Valle: Número de Reynolds = 5,000

Descarga: Número de Mach = 0.20

Los criterios arriba mencionados son para el gas (antes de la combustión) a la salida de la punta de la boquilla de la chimenea.

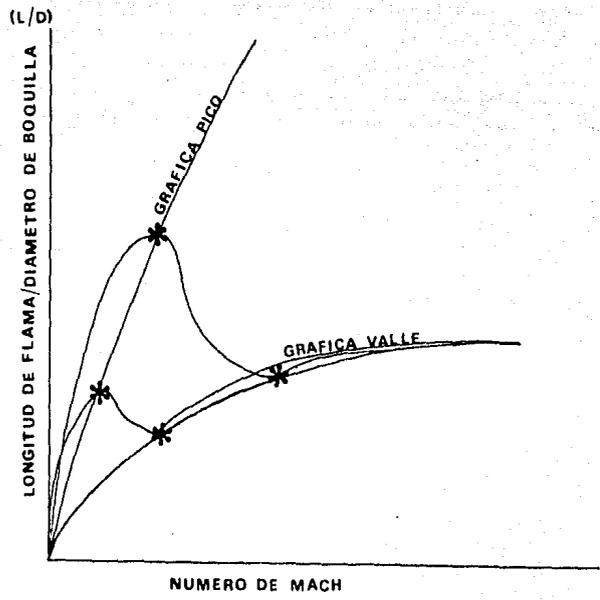
El número de Reynolds de 3,000 se aplica a la "curva de la gráfica pico"; El número de Reynolds de 5,000 se aplica a la "curva de la gráfica valle", y el número de Mach se aplica al límite del valle de la curva. Este punto es muy importante y se obtiene cuando la velocidad del gas de desperdicio y la flama en la chimenea causan una separación en la punta de la boquilla y en consecuencia la flama llega a ser inestable.

Para una máxima descarga en la chimenea, se recomienda que el número de Mach no exceda de 0.20 con el objeto de evitar las condiciones de inestabilidad de la flama. El límite de este punto puede ser extendido bajo el criterio de 0.20 Mach por técnicas especiales de estabilización de flama. Los estabilizadores de flama analizados en el capítulo III-2, deben de permitir una disminución en el diámetro de la boquilla y controlar la flama.

De la fig. No. VI-3 teniendo el diámetro de la boquilla para una máxima descarga de gas, se puede calcular la altura de la flama en varias razones de flujo de gas.

La razón (L/D) (en donde L es la longitud de la flama, D el diámetro de la boquilla en el quemador) correspondiente a un número de Mach de 0.20 tiene un valor aproximadamente cercano a

HP



**SUPERPOSICION DE CARACTERISTICAS
DE FLAMA DE COINCIDENCIA EN
LAS CURVAS**

REF.No.1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

Dir. JESUS SOLIS G. Vd. Bo. CARITINO MORENO

Esc. *[Signature]* FIGURA No. VI-4 FECHA: ENE-84

118, de este modo la altitud de la flama para la velocidad del gas en el punto limitante es 118 veces el diámetro de la chimenea en pies lineales de longitud, obteniéndose la siguiente relación:

$$L = 120 D$$

VI-4 LONGITUD DE FLAMA Y NIVEL DE RADIACION EN LA BOQUILLA INDAIR

El quemador Indair correspondió a la primer familia de quemadores que utilizarón el efecto Coanda. Este quemador originalmente desarrollado en Inglaterra por la Kaldair Limited en el año de 1960, fué diseñado para quemar continuamente efluentes gaseosos, ha sido utilizada para alivios de emergencia en plataformas marinas. La boquilla puede quemar grandes cantidades de flujo máximo bajando las condiciones de purga.

La boquilla utiliza el principio Coanda para proveer una combustión limpia sin humo, bajar el nivel de radiación y obtener un resplandor de flama estable.

El principio de operación es el efecto de adhesión de capa", en el cual se inyecta gas a alta presión en el orificio angosto inferior de la boquilla siguiendo el perfil curvo de la superficie, en lugar de descargar en una línea recta. el gas forma un cilindro creando un vacío y el aire entra hasta veinte veces en volumen: Este efecto introduce el oxígeno necesario y la turbulencia requerida para completar la combustión.

La flama se inicia a máximo diámetro de la boquilla, la presión del gas en la punta de la boquilla deberá ser a rriba de 0.7 barías (10 libras/pulgada²-g), con una alta carga-

de aire y flama turbulenta. El gas de deshecho fluye por el ducto central a baja presión y se enciende en la parte superior de la boquilla. La relación de baja presión a alta presión de gases de 1 : 3 por peso. Como resultado de esto el comportamiento del quemador Indair es capaz de manejar gas a baja presión en el ducto central, separado de un sistema de gas a alta presión.

Alrededor de la flama quemada del lado inferior de la boquilla, se forma una capa protectora de gas no quemado el cual es un aislador de la punta de la boquilla contra la flama. Como consecuencia de esto la boquilla no requiere de materiales sofisticados (tales como cerámicas) tampoco requiere técnicas especiales de fabricación.

Por otra parte, la flama es estable en vientos a velocidades hasta de 100 millas/hora (160 Km/hora).

Esta boquilla permite ser instalada en botalones y masteleros de pista variable en plataformas marinas, teniendo capacidades hasta de 80 millones de pies cúbicos/día para quemado de gas. Esta particular ventaja en casos donde el botalón del quemador puede ser montado directamente en una plataforma sin necesidad de un puente o plataforma de quemador asociada a una estructura de acero, reduciendo con esto los costos de instalación, operación y mantenimiento.

La ecuación desarrollada por Hajek y Ludwig para determinar la distancia requerida entre la localización de un venteo atmosférico a un punto de exposición, donde la radiación puede ser limitada, se calcula por la siguiente ecuación:

$$X = \sqrt{\frac{F Q}{(4) (3.14) (K)}}$$

En donde:

X = Distancia mínima de un punto medio de la flama a un objeto considerado en, pies lineales.

F = Fracción de calor radiado.

Q = Calor relevado en, BTU/hora.

K = Radiación permisible, BTU/hora pie².

El factor F permite determinar que no todo el calor generado en la flama puede ser liberado como radiación.

Esta ecuación, será de valiosa ayuda en el dimensionamiento de quemadores elevados y quemadores de fosa, en los criterios de diseño que serán presentados en el capítulo VII.

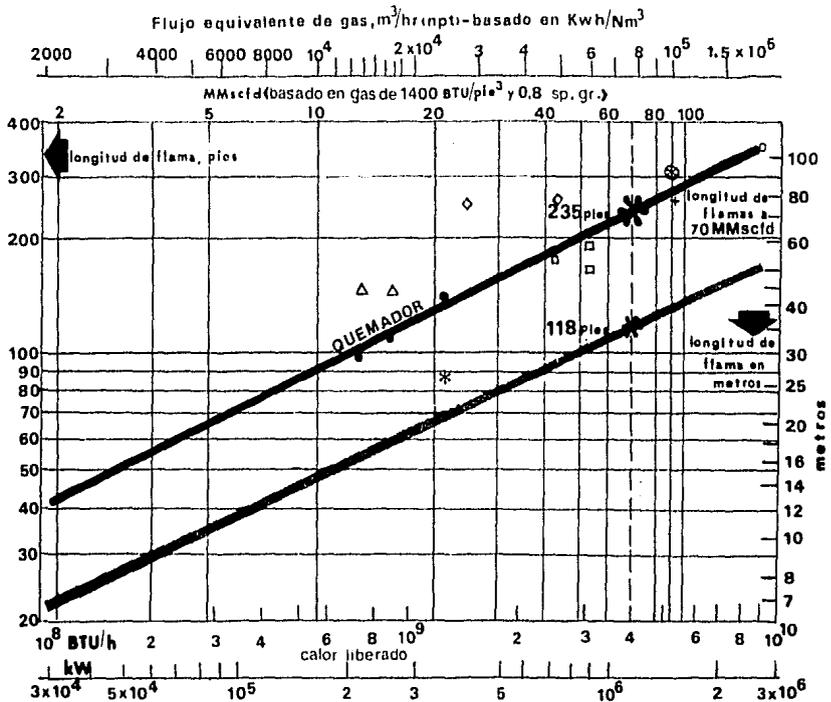
La distancia requerida X, se toma en el punto de interés al punto medio de la flama, considerando que toda la radiación emana del centro de la flama.

La longitud de la flama varia con la velocidad de emisión y calor liberado. Esta información se sujeta a límites usualmente basados en observaciones visuales en coherencia con emergencias de quemadores en descarga. En algunas plantas experimentales las longitudes de flama cubren altos rangos de calor liberado de varias mezclas de hidrógeno e hidrocarburos, y estos son indicados en la fig. No. VI-5.

La fig. VI-5 muestra las longitudes de flama en quemadores con boquillas convencionales comparadas con un quemador de boquilla tipo Indair, se puede notar la gran diferencia entre ambas.

En la fig. No. VI-6 se muestra la forma de la flama y los diferentes niveles de radiación de una boquilla Indair y una boquilla convencional. El quemador con boquilla tipo Indair

Comparacion de la longitud de flama en boquillas convencionales y el quemador con boquilla tipo "INDAIR"



- Gas combustible 20" chimenea
- Gas de Argelia
- △ Reformadora catalítica recirculación de gas 24" chimenea
- Reformadora catalítica gas efluente de reactor 24" chimenea
- Unidad de hidrogenadora 12" chimenea
- ⊕ Hidrógeno 31" chimenea
- ⊗ Hidrógeno 30" chimenea

LONGITUD DE FLAMA EN QUEMADORES

REFS. No.14 y 3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. V. CARITINO MORENO

Esc. *[Signature]* FIGURA No. VI-5 FECHA: ENE-84



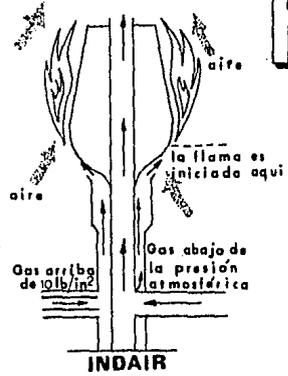
Condición viento calmado



Condiciones de viento, 50 millas/hr

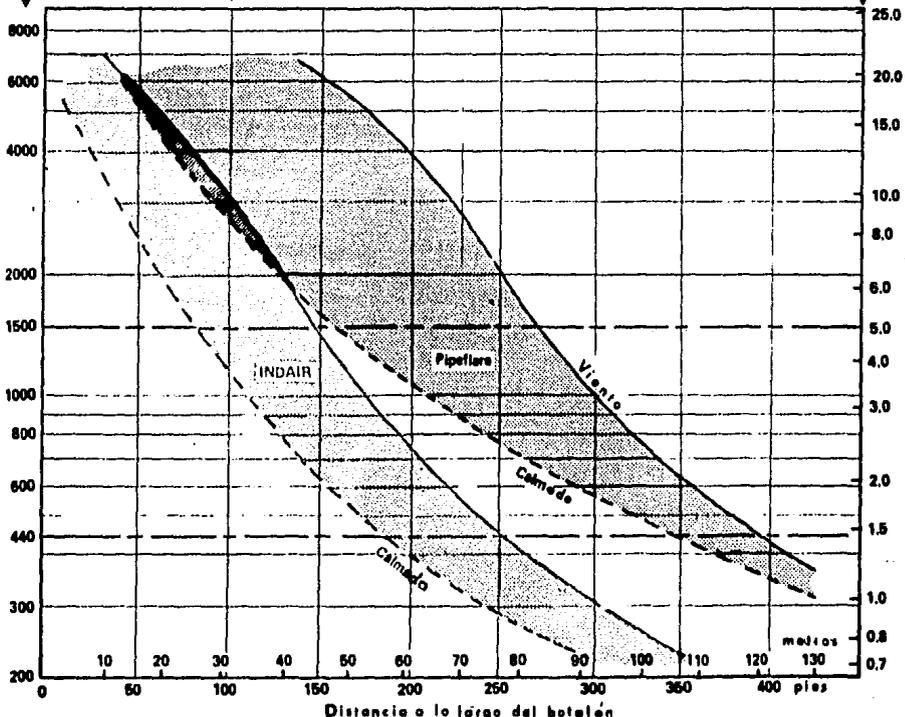
INDAIR
118-ft flame (35.97 m)

Quemador (Pipellare) (mach 0.2)
235-ft flame (71.63 m)



Punto receptor a máxima radiación, BTU/Hr

kW/m²



FORMAS DE FLAMAS EN QUEMADORES

REF. No. 14

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIA. JESUS SOLIS G. Va. CARITINO MORENO

EBC.

FIGURA No. VI-6

FECHA: ENE-84

quema 70 millones de pies cúbicos/día de gas, en condiciones de aire calmado y vientos hasta de 50 millas/hora (80 Km/hora).

Otras ventajas del quemador Indair con respecto a los quemadores convencionales son:

- a) Ignición confiable
- b) Operación segura
- c) Capacidad de quemar líquido en gas
- d) Capacidad de quemar gas a alta presión (en consecuencia reduce los costos en tamaño de las líneas de desfogue).
- e) Completa combustión de gases tóxicos
- f) Capacidad para operar horizontalmente
- g) Extenso rango de capacidades

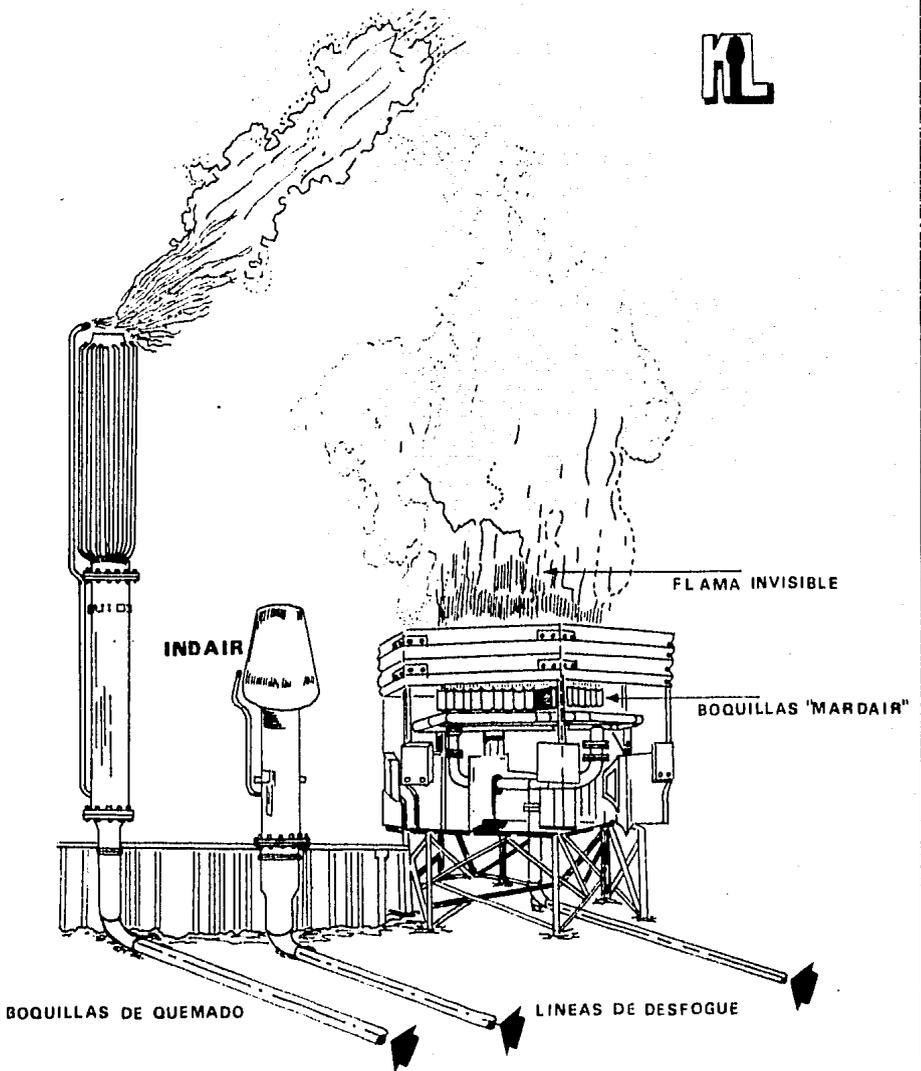
VI-5 DESCRIPCION DEL QUEMADOR CON BOQUILLA MARDAIR

El quemador Mardair es el segundo de la familia de quemadores que utiliza el efecto Coanda. Este quemador es de construcción modular, puede operar con flujos variados de gas de deshecho y condiciones de baja purga de gas, es muy ligero, y tiene bajos niveles de emisión en radiación. Consecuentemente es ideal acompañando pequeñas plataformas o sistemas de producción de petróleo cercanas a la costa marítima, por consiguiente reducen el momento de giro de cargas en plataformas de peso ligero.

La estructura principal de este quemador tiene la característica de incrementar su capacidad por adición de otros módulos más amplios, eslabonados por tubería convencional. Fig. VI-7.

Desde que la boquilla Mardair utiliza el principio Coanda, este posee las mismas ventajas de operación de la

KL



QUEMADOR CON BOQUILLA TIPO
"MARDAIR"

REF. No.14

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIG. JESUS SOLIS G. Vo. Bo. CARITINO MORENO

ECC. *[Signature]*

FIGURA No.
VI-7

FECHA:
ENE-84

boquilla tipo Indair, como son:

- a) Ignición segura
- b) Flama con baja luminosidad, sin humo.
- c) Alto grado de estabilidad en el viento.
- d) Bajo nivel de ruido.

VI-6

DESCRIPCION DEL QUEMADOR CON BOQUILLA STEDAIR

Este es el tercero de los quemadores operando con el principio Coanda, la boquilla utiliza un proceso de inyección de vapor en el cual el vapor empleado es de baja presión con entrada de aire suficiente para llevar a cabo la combustión completa de gases que son descargados alrededor de la atmósfera.

Este quemador satisface la creciente demanda en plantas de proceso y refinerías, para proveer un quemado seguro, económico y combustión limpia de gases, y el cual puede instalarse a un equipo de proceso cuando el contenido de hidrocarburos gaseosos son quemados, sin el oxígeno suficiente en la zona de combustión, provocando una fuerte tendencia en la producción de humo debida a demasiadas corrientes de gas a baja presión y las que contienen hidrocarburos gaseosos insaturados.

El humo es producido por el rompimiento de ligaduras insaturadas y en el centro de flama, donde la temperatura es alta, no hay oxígeno suficiente para completar la combustión, -- tal como se describió en el capítulo III-3. La formación de humo frecuentemente va acompañada por altos niveles de radiación. El quemador Stedair ha sido diseñado específicamente para vencer esos problemas.

El principio de operación del quemador Stedair se

muestra en la fig. No. VI-8. La boquilla utiliza el efecto Coanda. El vapor de suministro es alimentado en una cámara y pasará a través de una pequeña área anular que inyectará alrededor de la cámara siguiendo la curva del perfil Coanda que rodea la parte superior del ducto de gas.

La mezcla de vapor, aire e hidrocarburos gaseosos es llevada a cabo en la parte superior de la boquilla. La formación de humo es suprimida por una combinación de una ventilación eficiente, en consecuencia la temperatura de flama es reducida y las partículas de carbono son removidas por la reacción agua-gas.

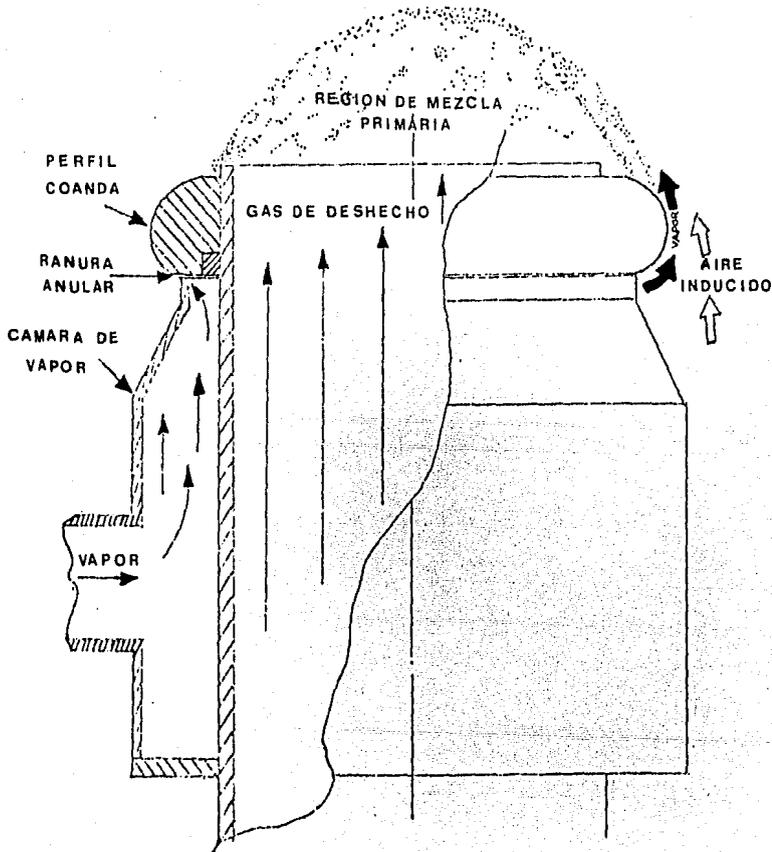
Las ventajas que podemos obtener con la boquilla Stedair comparada con otros quemadores son:

- a) Excelente economía de vapor.
- b) Uso de vapor a baja presión.
- c) Estabilidad de flama.
- d) Longitud corta de flama.
- e) Bajo nivel de radiación.
- f) Bajo nivel de ruido.
- g) Bajo nivel en el resplandor de la flama.

El proceso de inyección de vapor en la boquilla Stedair, para alivio continuo de proceso de gas de deshecho es un vapor cuya presión es de 2.5 Kg/cm^2 (35 libras/pulgada²), en una razón de vapor a gas de 1 : 4.

El sistema del piloto-encendedor en los quemadores Indair, Mardair y Stedair dependerá del tamaño y posición del quemador en cuestión. Los cabezales con el sistema de ignición ofrecen máxima confiabilidad en vientos de 80 millas/hora -

EL EFECTO COANDA EN UNA BOQUILLA TIPO
"STEDAIR"



**QUEMADOR CON BOQUILLA TIPO
"STEDAIR"**

REF. No.14

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

Dir. JESUS SOLIS G. Vo. Bo. CARITINO MORENO

Esc. FIGURA No. VI-8 FECHA: ENE-84

(128 Km/hora). El conjunto de pilotos/encendedores incluyen cámara de mezclado y la boquilla retenedora de flama, y son fabricados con alto níquel aleado para garantizar una larga vida en el servicio.

Para la unidad de encendido remoto, la ignición puede ser controlada manual o automáticamente, los paneles de ignición son para un extenso rango de aplicaciones, incluyendo áreas potencialmente peligrosas con requerimientos a prueba de agua.

El sistema de purga es usado en el arranque y después será usado intermitentemente, para mantener una condición de seguridad en los quemadores, este sistema puede ser integrado a la unidad de encendido remoto con monitoreo de purga en el mismo sistema.

VI-7

PRUEBAS DE RUIDO EN LAS BOQUILLAS

La boquilla-eyector de aire-vapor, tipo Flo-Anda, descrita en el capítulo III, sección 3, se desarrolló originalmente para reducir los niveles de ruido encontrados durante la expulsión de gases de deshecho. El primer modelo que se construyó fué de acero templado y aluminio, jamás se quemó en gas y solamente se utilizó para probar el ruido. Las cifras obtenidas fueron altamente animadoras y así se llevarón a cabo otras pruebas con boquillas de expulsión de gases de tipo funcional. Pronto se volvió obvio durante las pruebas de que no solamente fueron mucho más bajos los niveles de ruido que aquellos habitualmente experimentados, sino que también, se lograron ahorros en el vapor. El arrastre de grandes volúmenes de aire produjo una buena combustión y en algunos casos dió indicaciones de ahorros hasta de 30 % en el empleo de vapor para obtener una condición satisfactoria, carente de humo.

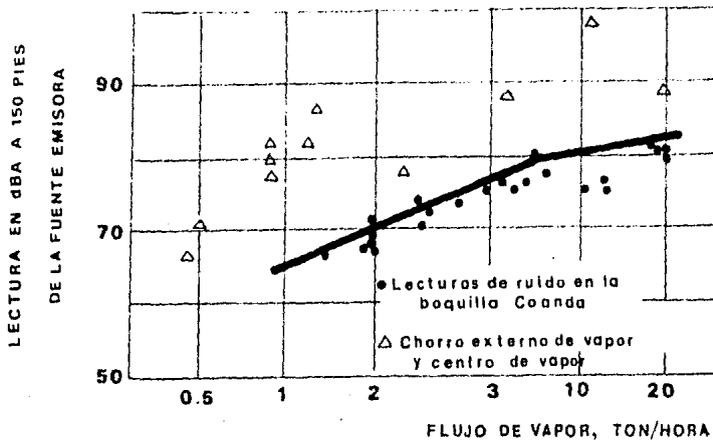
De las partes iniciales de expulsión de gas, realizadas en prototipos de boquillas, se formó una lista de resultados que permitio formular algunas ecuaciones referentes al nivel de presión de sonido (NPS) para diversos regímenes de vapor y gas. Al transcurrir el tiempo, una mayor cantidad de aplicaciones en el campo de la boquilla Coanda llegaron a ponerse a disposición para investigar el ruido y así surgió un determinado patrón entre el flujo del vapor y el NPS.

En la fig. No. VI-9 la proyección de estos resultados permite ahora predecir el ruido de la expulsión basado en una estimación razonablemente exacta de los requerimientos en vapor para la expulsión de gases quemados sin humo.

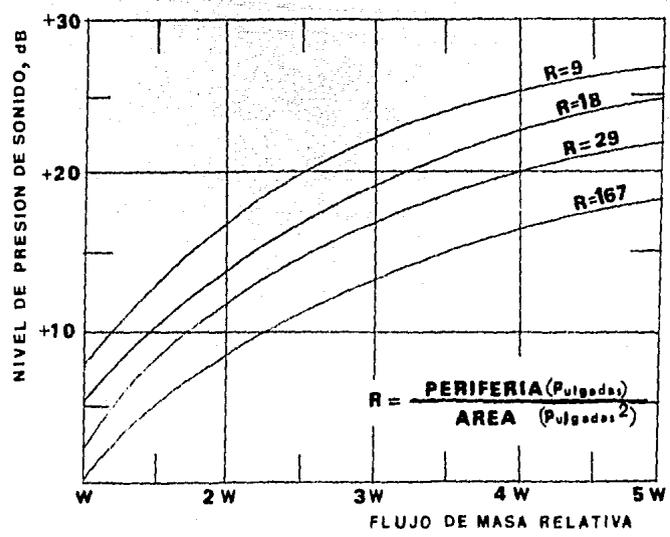
Se ha encontrado que es más práctico relacionar más bien el ruido al flujo de vapor en vez del ruido al flujo de gas, puesto que, diferentes gases requieren de diferentes regímenes de vapor por cada libra de hidrocarburo, de acuerdo con su composición. Así mismo, cada operador en planta tiene una diferente opinión sobre lo que debe aparentar una flama sin humo y que tanto o que tan poco vapor se debe de utilizar. Con toda seguridad no es posible hacer generalizaciones y asumir una norma fija para la proporción de vapor a hidrocarburos.

VI-7-1 Desventajas en el diseño.

La comparación de los niveles de ruido obtenidos con la boquilla Flo-Anda con aquellos logrados en diferentes tipos más convencionales de inyección de vapor, revela las ventajas sobre la base de consumo vapor. Muchas de esas ventajas están asociadas directamente con el empleo del inyector Coanda. Es un principio bien conocido entre Ingenieros expertos en ruido y además de investigadores en materia, se ha demostrado que las características de ruido de orificios se pueden ajustar mediante la colocación estratégica de múltiples formaciones de chorros.



AICE



NIVELES DE PRESION DE SONIDO
 REF. No. 10

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

DIA. JESUS SOLIS G. | Vo. Ca. CARITINO MORENO

Esc. *[Signature]* | FIGURA No. VI-9 / VI-10 | FECHA: ENE-84

En general, para cada grupo de espreas, al aumentarse la proporción del área total de la periferia respecto a toda el área de flujo, probablemente disminuirá el ruido generado por un flujo constante, bajo presión constante. El inyector-Coanda tiene en su orificio de vapor una zona anular estrecha con una proporción relativamente alta de periferia al área. La diferencia en niveles de ruido entre este inyector y un solo orificio circular de área equivalente puede ser demostrada mediante pruebas, y las reducciones logradas con el empleo del inyector Coanda puede ser tan grande como de 10 dB. Fig. No. VI-10

Hay dos razones básicas para este fenómeno. En primer lugar, al crearse el ruido del chorro por la energía turbulenta en la periferia de la corriente del chorro cuando abre su paso a través del aire por demás quieto o tranquilo, incrementando así la periferia, reduce la concentración de esta energía turbulenta. En segundo lugar si se agrupan las espreas de tal manera que las corrientes de los chorros sufren una coalescencia muy rápida, entonces el ruido es una función de la energía turbulenta en la periferia de la nueva corriente de chorro, "aparente". El ruido producido en un orificio se puede proyectar como un espectro de frecuencias y se ha determinado que se generan altas frecuencias cerca del orificio y frecuencias bajas en un punto lejano del mismo.

La potencia pico se genera por lo general en las frecuencias mayores y cuando más pequeña sea la esprea expulsora, más hacia frecuencias altas se desplaza al nivel de ruido máximo.

Sin embargo, estas frecuencias altas son las más afectadas por la absorción molecular y también son altamente direccionales, así que en tanto que el nivel de potencia de sonido (NPS) tal vez no difiera en mucho, entre chorros individuales y múltiples, el NPS registrado según la escala "A" podría

mostrar una reducción notable.

Al arreglo de los inyectores Coanda en la boquilla y la curva de eficiencia en general del inyector, permite diseñar presiones de vapor del orden de 50 libras/pulgada cuadrada. Otros diseños pueden estar limitados por lo que se refiere a los orificios disponibles y muchas veces requieren de un diseño hasta de 100 o 150 libras/pulgada cuadrada, creando así otro leve incremento en el ruido.

Otra razón de que la boquilla Coanda es más silenciosa que otros en cuanto a ruido de inyección de vapor, procede de las ventajas obtenidas por el arrastre del aire en la corriente de gas. La mejor combustión lograda permite cierto ahorro de vapor y así baja el nivel de ruido.

Podría argumentarse que la mejor combustión podría ser perjudicial en cuanto a producción de ruido. El ruido de combustión está generalmente relacionado con la intensidad turbulenta de la flama, la mezcla previa del aire con el gas podría conducir a una combustión más rápida e incrementar la intensidad de combustión y por lo tanto podría ser responsable de mayor ruido. Se sabe que una mezcla completa y el enderezamiento del flujo antes de la quema, conducirán a bajar notablemente el ruido.

Se ha hecho un esfuerzo en la boquilla Coanda para lograrlo y aumentar la eficiencia de combustión se reducen las ineficiencias que producen el ruido. La mayor parte de la mezcla turbulenta con vapor y aire arrastrado ocurre dentro de la boquilla en oposición a la mayor parte de otras boquillas similares en que no ocurre la mezcla sino hasta después de que los gases han dejado la punta de la boquilla.

Así cierta parte del ruido por la energía turbulenta queda protegido o sea, ocultado en la boquilla. Observaciones-

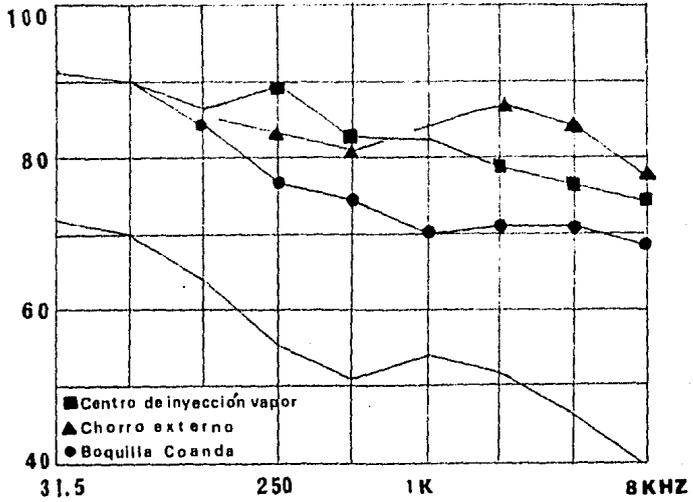
visuales de la flama en la boquilla Coanda muestran en efecto - un área de combustión sumamente buena y estable por encima de - la salida de la misma. Además, por la forma cónica de la unidad, la velocidad de salida de los gases es aproximadamente la mitad de aquella a través de una boquilla tubular recta y esto nuevamente tendrá efecto sobre el ruido de combustión creado por la energía turbulenta y la mezcla con el aire ambiental.

VI-7-2 Aspecto General.

Habiendo considerado aspectos de diseño individuales de la boquilla Coanda, se puede hacer una comparación entre típicos espectros de ruido con el empleo de algunos tipos diferentes de inyección de vapor en la fig. No. VI-11. El método -- más sencillo para agregar el vapor es la inyección directa en - el centro de la boquilla de quemado. Esto tiende a aumentar el nivel general de ruido de combustión pero no cambia radicalmente su espectro. Este método de inyección de vapor puede ser bastante costoso en cuanto al vapor, pero la necesidad de altas -- proporciones de vapor a gas, si no se controlan adecuadamente, pueden conducir no solamente a la supresión del rompimiento térmico, sino también a la supresión de la combustión.

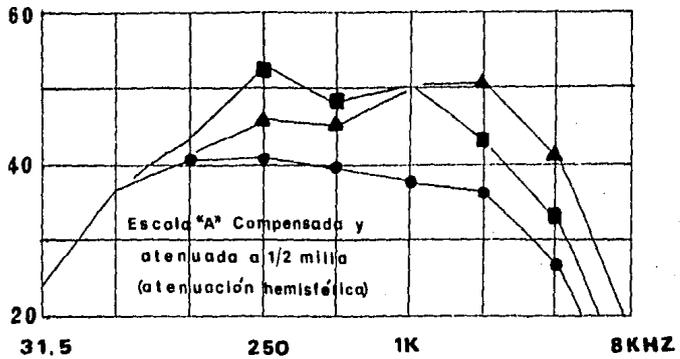
El siguiente método, tal vez más común de inyección de vapor es utilizar un anillo de espreas de vapor situadas alrededor de la base de la flama. Los chorros de vapor de alta presión crean una mezcla turbulenta del vapor y del gas -- con cierto arrastre de aire. También puede causar un arrastre - de los productos inertes de combustión aumentando así inestabilidades locales con ineficiencias acompañantes, por lo cual aumenta el ruido. Este tipo de boquilla también es susceptible a la disrupción de mezcla en condiciones de mucho viento. Las espreas externas ya de por sí son sumamente ruidosas e imponen sobre el espectro algún ruido de chorro de alta frecuencia. Es -- una característica del espectro de ruido puesto que, se tropie-

DECIBELES GB RE 2×10^{-5} NW/M²



ESPECTRO DE LA BOQUILLA COANDA A 150 PIES DE LA FUENTE EMISORA, 20.4 TON/HR DE PROPANO C₃H₈, 8 TON/HR DE VAPOR. CENTRO DE INYECCION DE VAPOR, CORRIENTE EXTERNA DE VAPOR EN COMPARACION CON LA FORMA DEL ESPECTRO

AICE



BANDA CENTRAL DE FRECUENCIA

ESPECTROS DE EMISION DE SONIDO

REF. No.10

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. Va. B. CARITINO MORENO

ESC. *[Signature]* FIGURA No. VI-11/VI-12 FECHA: ENE-84

za con un pico de alta frecuencia que solamente se puede quitar por tratamiento especial.

La boquilla Coanda no muestra esta característica de formar un pico en los márgenes de alta frecuencia. La mayor parte del ruido se concentra en las frecuencias de combustión, lo cual significa que al presentarse como una lectura en dBA, los niveles de ruido con la Coanda son mucho más aceptables que aquellos generados por otros tipos de inyección de vapor.

Desde luego el ruido se atenúa con la distancia y el atenuamiento es mayor en las altas frecuencias que en las bajas, debido a la absorción de aire y efectos de directividad. Esto significa por ejemplo que a una distancia de media milla, el ruido que se oye, en efecto es básicamente alrededor del margen de 500 ciclos, que no se atenúa apreciablemente por la absorción de aire ni tampoco pesa mucho como una lectura en la escala "A". Las proyecciones atenuadas por la distancia de la fig. No. VI-12 de los dBA, muestran esta comparación. Cuando la alta frecuencia es prominente en el espectro generado, el espectro atenuado por la distancia, siempre puede demostrar altos niveles de ruido en estas frecuencias, pero no obstante las frecuencias de combustión empiezan a desempeñar un papel más importante dentro del margen audible.

Esto causa un problema de ruido en el vecindario asociado con el empleo de quemadores elevados sin humo, especialmente durante las horas de oscuridad o fuera de las horas hábiles normales. Este problema, muchas veces acoplado con el deseo de economía, ha conducido a que se apaguen los quemadores durante la noche.

El ruido de quemadores de fosa, no solamente es un problema de la zona después de ponerse el sol, sino también, la luminosidad de una flama de quemador elevado puede ser una--

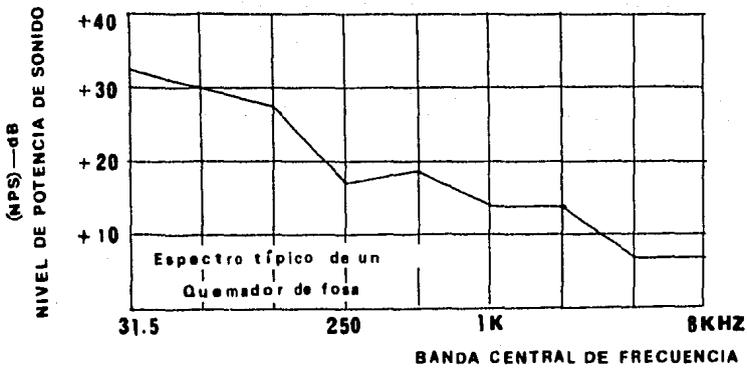
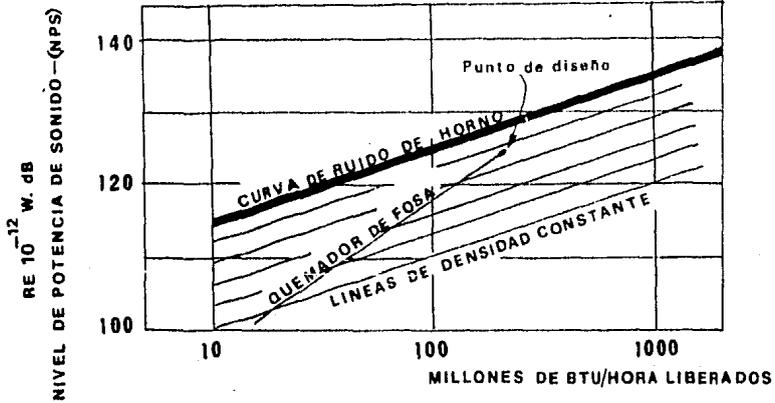
fuente de molestia para cualquier persona. Tal vez está razón más que el problema de ruido llama una mayor concentración a las unidades de quemado a nivel de piso. El quemador de fosa, esta diseñado para deshechar cierta fracción de la capacidad de quemado de la planta dentro de una fosa parcialmente encerrada, ocultando así la flama durante el mayor período de operaciones de la planta.

Se ha sugerido que los quemadores de fosa probablemente serán más silenciosos que los quemadores elevados -- que operan a la misma capacidad. Esta reducción de ruido probablemente se deba al hecho de que la flama contenida dentro de la fosa, quede protegida contra el viento y enfriamientos esporádicos, y porque el efecto estabilizador de calor nuevamente radiado de las paredes refractarias reduce las características aleatorias de la combustión. Las propias paredes absorben cierta parte de la energía sonora y ayudará a bajar el nivel de energía de sonido por la corta distancia.

Sin duda se necesita más trabajo para determinar niveles de ruido operativos de quemadores de fosa, sin -- embargo los datos disponibles sugieren que los patrones seguirán las mismas líneas como el ruido producido en hornos de -- fundición y hornos de caldera.

Una base empírica ha sido sugerida por Davies - para permitir un incremento de 10 dB en el ruido de hornos de fundición por cada incremento de 10 veces, en la carga térmica. Calculando el Nivel de Potencia de Sonido (PWL) en su totalidad, generado en la operación de quemadores de fosa y proyectando estos resultados contra la curva de ruido de un horno, resultaría que la línea sugerida por Davies es una dentro de una familia de líneas. Fig. No. VI-13. Cada línea representa una densidad particular de la combustión. Cada quemador de fosa tendría en tal caso su propia curva característica en --

AICE



**COMPARACION DEL NIVEL DE RUIDO
EN QUEMADORES Y HORNOS**

REF. No. 10

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

Dir. JESUS SOLIS G. Vo. Co. CARITINO MORENO

Esc.  FIGURA No. VI-13/VI-14 FECHA: ENE-84

ángulo respecto a la línea de Davies con la cabeza de la curva colocada en la liberación máxima del diseño y de la densidad de combustión requerida para lograr dicho diseño. Se plantea hacer más trabajo con quemadores de fosa para examinar esta característica y otras. Pero es obvio de los resultados actuales que el ruido sigue un espectro de combustión normal sin picos de frecuencia mayor. Fig. No. VI-14.

También en algunos casos en que se manejan gases difíciles con la inyección ventajosa de vapor, una modificación en el inyector Coanda, permite resultados excelentes sin involucrarse ningún ruido obvio creado por la inyección de vapor y sin afectar notablemente la proposición de una curva de densidad de combustión.

VI-7-3 Reducción de Ruido

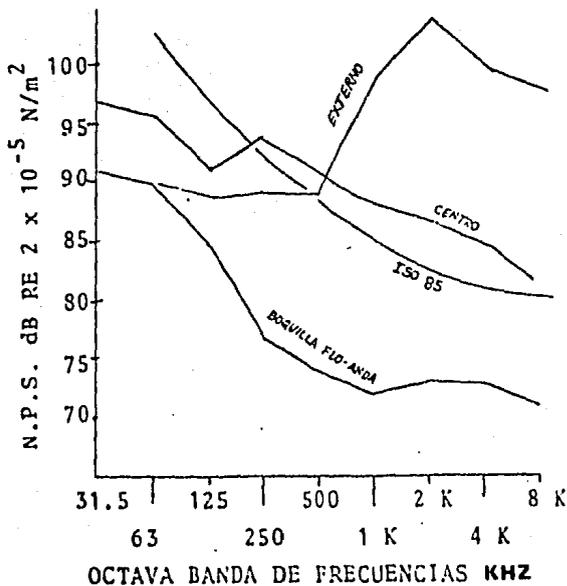
Las extensas pruebas de ruido en la boquilla Flo--Anda que la Flaregas ha desarrollado consistiendo en el método de inyección de vapor en la corriente de expulsión de gas es --- substancialmente silenciosa que otras, involucrando el **centro de inyección** de vapor en el lado interno de la boquilla o la **inyección externa** de vapor, por medio de un manifold de cabezales alrededor de la punta de la boquilla del quemador elevado.

De esas pruebas ha sido posible proyectar la producción de ruido de varias boquillas, y la fig. No. VI-15 muestra lecturas comparativas de ruido para boquillas operando a un rango nominal de 1 tonelada/hora de vapor. Las curvas de nivel de ruido son basadas en pruebas actuales y en datos de campo con vapor de 50 PSIG de presión saturado. Las curvas son corregidas a 10 metros de la fuente emisora en el orden para mostrar una comparación con el criterio ISO 85.

Como puede observarse la boquilla "FS" Coanda sig-



PROYECCION DE NIVEL DE RUIDO A 10 METROS DE LA FUENTE EMISORA DE EXPULSION DE GASES EN UNA CHIMENEA CON 1 TON/HORA DE VAPOR SATURADO.



PROYECCIONES DEL NIVEL DE RUIDO

REF. No. 12

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIR. JESUS SOLIS G. V. CARITINO MORENO

ESC.

FIGURA NO.

V1-15

FECHA:

ENE-84

nificativamente muestra una mejora en el nivel de ruido durante la expulsión de gases, especialmente en altas frecuencias.

Consecuentemente, los dBA representados son reducidos y en general las lecturas de los dBA son aproximadamente de 15 a 20 dB para una boquilla Coanda. Con una inyección externa de vapor, la línea de dB y las lecturas de los dBA deberán ser casi iguales.

Las pruebas en la boquilla Coanda han sido en primer lugar la formulación de dos fórmulas las cuales permiten la predicción de los niveles de ruido. Estas dos fórmulas son mostradas junto con la corrección de factores de la fig. No. VI-15.

VI-7-4 Niveles de Ruido en la Boquilla Flo-Anda.

El nivel de presión de sonido (NPS), dB a un metro de la fuente emisora es:

31.5 Hertz a 500 Hertz Octava banda de Frecuencia

$$\text{NPS} = 115 + 15.35 \log_{10} (\text{Ton Vapor/Hora})$$

Correcciones en la octava banda de frecuencia:-

31.5 Hertz	NPS de la fórmula	-	4 dB
63.0 Hertz	" " "	"	5 dB
125.0 Hertz	" " "	"	10. dB
250.0 Hertz	" " "	"	18 dB
500.0 Hertz	" " "	"	21 dB

1 K Hert a 16 K Hert en la octava banda

$$\text{NPS} = 99 + 15.1 \log_{10} (\text{Ton vapor/hora})$$

Correcciones en la octava banda de frecuencia:-

1 K Hertz	NPS de la fórmula	-	7 dB
2 K Hertz	" " " "	-	6 dB
4 K Hertz	" " " "	-	6 dB
8 K Hertz	" " " "	-	8 dB
16 K Hertz	" " " "	-	10 dB

VI-7-5 Ejemplo.

Una boquilla de 24 pulgadas de diámetro de un quemador elevado sin humo, con boquillas Coanda a su alrededor, está quemando 4.6 Ton/Hr de una mezcla gaseosa de propileno/propano a una razón de vapor/hidrocarburos de 0.32 peso/peso:-

$$\text{Razón de vapor} = 4.6 \times 0.32 = 1.47 \text{ Ton/Hr.}$$

$$\log_{10} 1.47 = 0.1675$$

Banda central de frecuencias: 31.5 Hz a 500 Hz.

$$\text{NPS} = 115 + 15.35 \times 0.1675 = 117.6 \text{ dB}$$

31.5 Hertz	---	113.6 dB
63 Hertz	---	112.6 dB
125 Hertz	---	107.6 dB
250 Hertz	---	99.6 dB
500 Hertz	---	99.6 dB

Banda central de frecuencias: 1 K Hertz a 16 K Hertz.

$$\text{NPS} = 99 + 13.1 \times 0.1675 = 101.2 \text{ dB}$$

1 K Hertz	---	94.2 dB
2 K Hertz	---	95.2 dB

4 K Hertz	---	95.2 dB
8 K Hertz	---	93.2 dB
16 K Hertz	---	91.2 dB

La línea abarca la lectura: 117 dB

Lectura compensada en la escala "A" : 102 dB

A 45 metros de la fuente emisora:-

La línea abarca la lectura" 83 dB

Lectura compensada en la escala "A": 68 dB.

La distancia y la absorción atmosférica de ruido deberá también ser considerada en la predicción de los niveles de ruido y estos efectos pueden ser determinados por la fig. No. VI-16.

VI-7-6 Nivel de Potencia de Sonido en Venteos Atmosféricos.

El nivel de ruido a 100 pies del punto de descarga de un Venteo Atmosférico podrá ser determinado por la ecuación:

$$L_{100} = L \text{ (fig. VI-17) } + 10 \log_{10} (1/2 M u_w^2)$$

Donde:

L_{100} = Nivel de ruido en dB

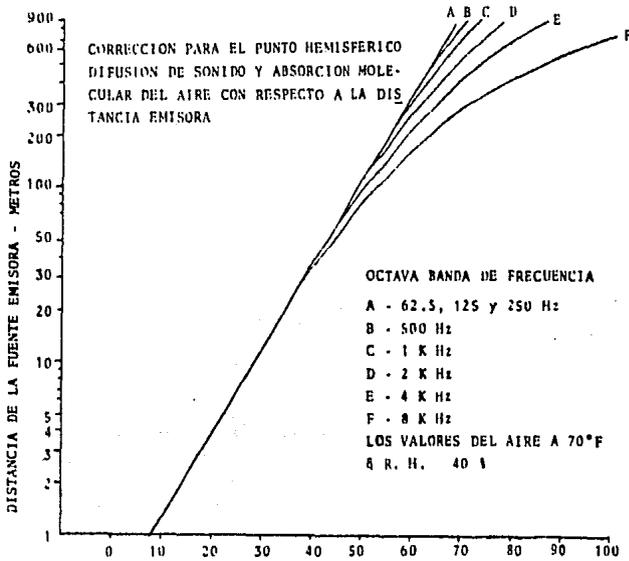
M = Masa de efluente venteada en libras/hora.

u_w = Velocidad sónica del gas en pies/seg.

La velocidad sónica del gas venteado está dado por -



PREDICCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO



LOS VALORES SON SUBSTRAIDOS DEL NIVEL DE POTENCIA
(dB re 10^{-12} WATT) PARA OBTENER EL NIVEL DE PRESION
(dB re 2×10^{-5} N/m²)

PREDICCIÓN DEL NIVEL DE RUIDO

REF. No.12

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DISE. JESUS SOLIS G. Vg. Bo. CARITINO MORENO

ESC.

FIGURA No.

VI 16

FECHA:

ENE-84

por la siguiente ecuación:

$$u_w = 223 \sqrt{\frac{(K)(T)}{M}}$$

Donde:

K = Relación de calores específicos del gas.

T = Temperatura del gas, grados Rankine.

La relación de presiones del punto de emisión al punto de descarga a la atmósfera, está dado por "PR", en la fig. No. VI-17.

El procedimiento de cálculo que se da a continuación para el Nivel de Potencia de Sonido es bastante simple.

1.- Calcular $1/2 M u_w^2$ en Watts.

En unidades inglesas, dividir el flujo en peso (libras por segundo) por 32.2 para obtener M.

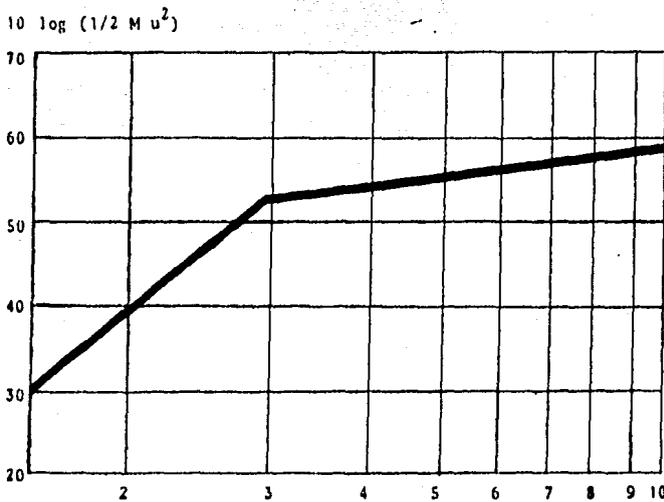
2.- Calcular $10 \log_{10} (1/2 M u_w^2)$

3.- De la fig. No. VI-17, leer comunmente "PR".

4.- Sumar los términos 2 y 3 para obtener el nivel de sonido, L_{100} , en decibeles a 100 pies del punto de emisión.

Utilizar para diferentes distancias a 100 pies, la siguiente ecuación:

$$L_p = L_{100} - 20 \log_{10} \left[\frac{r}{100} \right]$$



RELACION DE PRESION "PR"

RELACION DE PRESION DEL SONIDO

REF. No.3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

D/B. JESUS SOLIS G. ^{1o. 2o.} CARITINO MORENO

Esc. *H*

FOLIO No. VI-17

FECHA: ENE-84

Donde:

L_p = Nivel de sonido a una distancia "r"

r = Distancia en pies de la fuente emisora.

El nivel de ruido permisible es de 135 dB (sin protector de oídos).

Se espera que en esta sección sea muy útil para -- personas no familiarizadas con la "combustión de gases e intersante para los que tratan de resolver algunos problemas tratados. Se trató de demostrar en esta sección que es posible eliminar "humo" (smog) y "ruido". Mediante un diseño correcto y una buena selección de equipo es factible reducir los niveles de estas dos formas de contaminación.

VI-8 CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE LOS SELLOS DE GAS Y PURGA DE GAS.

La segunda parte fundamental de un quemador elevado y un quemador de fosa son los denominados sellos de gas, estos sellos están ubicados dentro de la boquilla o inmediatamente abajo de esta y el objeto de los mismos es reducir la cantidad de gas de purga requerida para mantener al sistema esencialmente libre de oxígeno.

Como ya se mencionó, en las chimeneas de quemadores elevados, generalmente son purgados con gas con el objeto de proteger la flama contra un retroceso por detonación y explosión (En pocos casos la purga representa una protección contra la corrosión del material de las boquillas de alguna reacción indeseable.

El problema con las chimeneas de quemadores eleva

dos, es que los gases que se mezclan con el aire atmosférico son inflamables y por el encendido de los pilotos, si la velocidad del gas es muy baja (en algunos casos menos de 3 pies/seg.). El potencial existente para la flama es grande ya que de la punta del quemador la flama se regresa y por consiguiente existen mezclas gaseosas inflamables.

El oxígeno requerido para poder permitir la combustión usualmente proviene del aire atmosférico y entra en la punta de la chimenea. El control primario de las fuerzas de entrada de aire son fuerzas que están influenciadas por los diámetros de las boquillas de las chimeneas, así como, también las densidades de gas y aire.

El caso práctico es que todos los gases sufren un desplazamiento por el aire atmosférico debido a los efectos turbulentos del aire encima del borde de la boquilla, con gases teniendo como peso molecular comparado con el del aire (por ejemplo el nitrógeno), el efecto del viento y la turbulencia, las concentraciones de oxígeno en la chimenea y los efectos serán mínimos.

El orden para contrarestar la tendencia de entrada del aire atmosférico a la chimenea, es la mínima velocidad del gas, la cual deberá de ser mantenida para asegurar que no existan condiciones peligrosas.

En la práctica esto no es razonable por observar un mínimo de limitaciones del rango por debajo del nivel de diseño y todas las plantas en operación aumentan un mínimo de gas de purga, para garantizar que la protección es uniformemente mantenida, si el relevo de flujo es bajado a cero.

Naturalmente que el gas de purga puede ser oxígeno, otra ventaja adicional puede ser si el gas no es inflamable, por

ejemplo el nitrógeno.

El efecto que tienen los sellos de gas, son el de -- crear una condición en la que nunca se exceda del 6 % de oxígeno en 25 pies del lado interno de la boquilla, dando como resultado mezclas no inflamables.

Para el valor del límite de inflamabilidad deberá -- consultarse una tabla especializada, puesto que varía dependiendo del gas utilizado.

Una ecuación simplificada y conservativa de H. W. Husa, presentada en la "Petroleum Refiner", 43, 179 (1964), es la siguiente:

$$V = \frac{0.009 (e)^{0.16D}}{\sqrt{M}}$$

Donde:

V = Velocidad de purga en la chimenea.

D = Diámetro de la chimenea.

M = Peso molecular del gas.

El límite de la velocidad para el gas de purga en la ecuación anterior, puede ser considerado alrededor de 3 pies/seg. para boquillas grandes y bajos pesos moleculares de gas; y 1 pie/seg. para boquillas de diámetro intermedios y pequeñas, y por lo regular hidrocarburos gaseosos. A estas velocidades con gases inflamables, la velocidad de la flama es muy similar a la magnitud de las velocidades de purga del gas, por lo tanto la tendencia a un retroceso de la flama es reducida.

Una buena guía práctica para esta condición, es que las flamas en las chimeneas, permanecen claramente visibles bajo

casos de purga. En cuanto a esto sin embargo puede ser una tendencia para flamas a quemarse ligeramente en la boquilla a bajos rangos de purga y esta cuestión deberá ser tratada por separado en términos de sobrecalentamiento de la punta del quemador.

Algunas boquillas de quemadores aumentan el mínimo de flujo de purga, usando vapor saturado en el centro de la boquilla, si el borde de la boquilla del quemador es sobrecalentada.

Generalmente el flujo en el borde de la boquilla, el flujo y la purga no deberán ser erróneamente supuestas, como los rangos de purga pueden algunas veces ser empleados cuando la flama no se presenta, y el propósito de la purga de gas es para proteger a la chimenea en vez del extremo de la punta de la boquilla.

VI-8-1 Contenido de oxígeno en la base del quemador.

Basándose en los trabajos de H. W. Husa, la relación:

$$L \propto \frac{(1)^{0.64}}{(x)}$$

Puede ser deducida para el estado de equilibrio.

L = Profundidad por el lado interno de la chimenea.

x = Concentración de oxígeno.

Al tiempo que una chimenea es contrarrestada por la purga, durante la purga inicial o el arranque de un quemador elevado, esta relación puede ser empleada.

Las explosiones dominantes usualmente requieren una prueba o la flama recorrerá una distancia mínima de 30 pies.

Permitiendo menos del 6 % de oxígeno a una profundidad de 25 pies, la chimenea esta sin peligro de detonación.

Una reducción conveniente a este problema, lo proporciona una relación aproximada que da la concentración de oxígeno a la base del quemador, esta relación es:

$$C_{\text{máx}} = \left[\frac{100}{\text{Altura en pies}} \right]^{3/2}$$

VI-8-2 Gases de purga inertes.

El uso de gases inertes de purga obviamente proporciona una ventaja en la naturaleza de la purga y es su adecuada supresión a cualquier propagación potencial de flamas.

En orden para tasar el valor real del nitrógeno, por ejemplo, en una purga es importante considerar el efecto por cualquier adición de gas inflamable. En general y por términos aproximados por adición de volumen de gas inflamable entre 5 y 15 % al nitrógeno deberá dar el total de la mezcla inflamable.

La velocidad de la propagación de la flama en la mezcla deberá ser reducido un poco de lo normal de la velocidad y proporcionando un factor de seguridad adicional.

De cualquier modo para asegurar el mismo grado de seguridad esta calculada para una flama de gas, esto no se ve razonable para reducir los rangos de nitrógeno a menos de 2/3 del rango de flama para el mismo peso molecular.

VI-8-3 Sellos Integrales.

Este sello es muy sencillo, y consiste de un cilindro y-

un cono interno, el cual actua como un orificio aumentando la velocidad de los gases. Este dispositivo tiene la forma de un tubo venturi, reduciendo el volumen de gas y mantiene fija la velocidad de purga.

El sello da una máxima protección a la chimenea y va -- montado en la parte inferior de las boquillas, el sello tiene -- una menor caída de presión comparado con el sello tipo laberinto.

El cálculo para la velocidad del gas de purga en pies/-- seg. para el sello, puede obtenerse de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{0.01 (e)^{0.16d}}{\sqrt{M}}$$

Donde:

d = Diámetro interno del sello, pulgadas.

M = Peso meolecular del gas de purga.

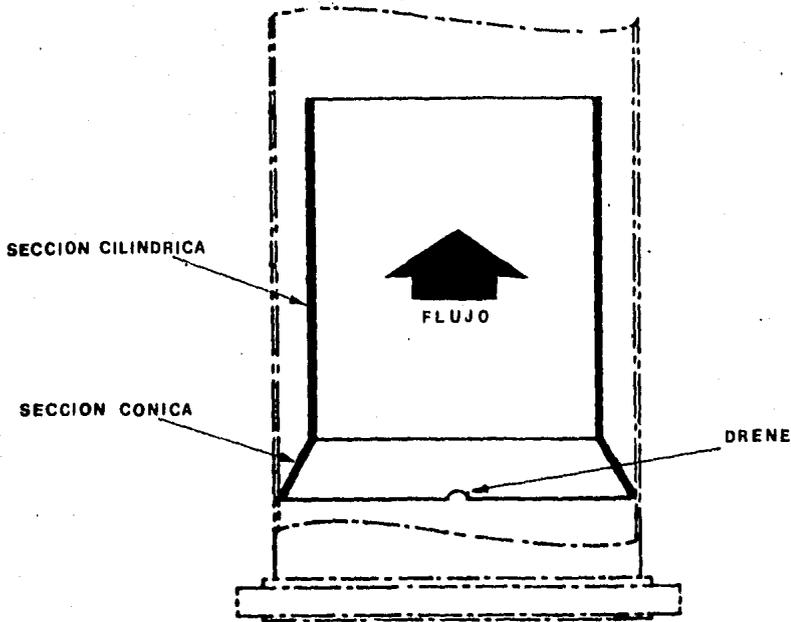
Los límites de la velocidad de la purga de gas son de 1- a 3 pies/seg.

No se recomienda instalarlo en quemadores elevados de -- gran diámetro (mayores de 24 pulgadas), ya que, la eficiencia de -- purga del sello disminuye rápidamente. Fig. No. VI-18

VI-8-4 Sellos laberinto.

Este sello sin embargo ha demostrado ser satisfactorio - en diámetros nominales desde 2 pulgadas hasta 72 pulgadas.

La configuración interna de este sello provoca dos cam-- bios de 180° en la dirección del flujo de gases, causando una in--



SELLO DE GAS

REF. No.11.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIG. JESUS SOLIS G.

Vs. Bo. CARITINO MORENO

ESC.

FIGURA No.

VI-18

FECHA:

ENE-84

terfase de gas/aire dentro del mismo sello

El aire atmosférico no puede introducirse dentro del quemador a menos que se rompa la interfase de gas/aire, por tal motivo es que purgamos el sistema.

Este sello posee una relativa elevada caída de presión, es más seguro que cualquier otro tipo pero muy costoso. Fig. No. VI-19.

Otro tipo de sello es el denominado sello molecular, el cual fué descrito en el capítulo II-2 Quemadores elevados con humo.

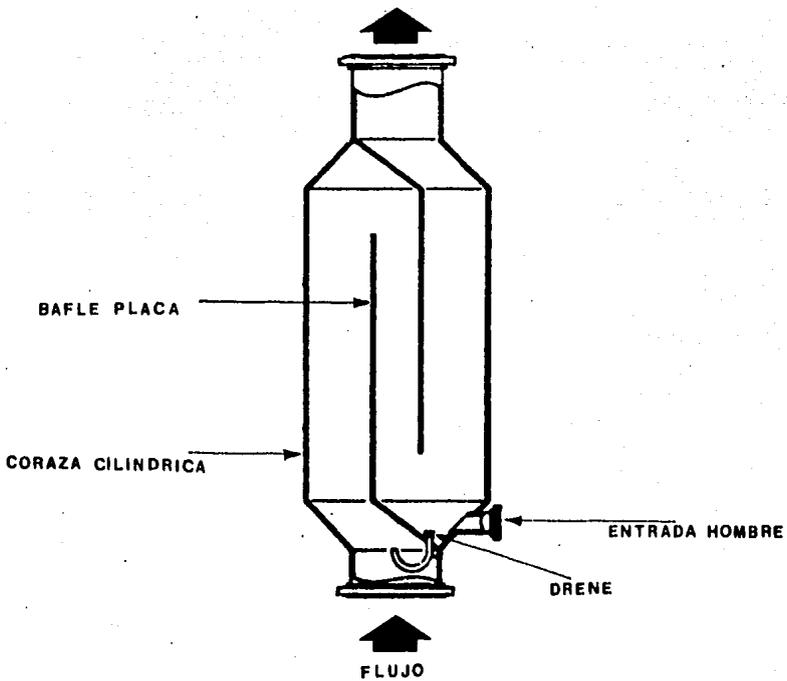
En los sellos moleculares, la aplicación de válvulas de relevo cargadas a resorte, mejoran el problema del cese repentino de la corriente de gas debida a la oscilación y a la contracción térmica que arrastra cantidades substanciales de oxígeno, por lo cual este sello es más delicado en su operación.

Sin embargo en los sellos flúidicos, descritos en la sección II-2, la oscilaciones son prontamente amortiguadas y el sello y la chimenea mantienen bajos niveles de oxígeno. El sello flúidico muestra un mejor comportamiento que los sellos tipo laberinto, previniendo la entrada de aire y la contracción de gas. Fig. No. VI-20.

Los resultados de los análisis del sello flúidico se muestran en las Figs. Nos. VI-21, VI-22 y VI-23.

La fig. No. VI-21 muestra la gráfica del porcentaje del oxígeno contra el gas de purga en pies³/hora, para un sello flúidico de 24 pulgadas de diámetro a diferente velocidad del viento.

La fig. No. VI-22 muestra una gráfica del porcentaje --



SELLO TIPO LABERINTO

REF. No.11

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

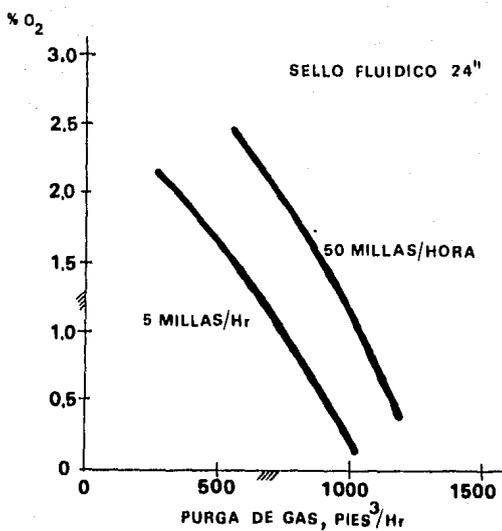
TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. ^{Vo. Bo} CARITINO MORENO

EGC. *[Signature]*

FIGURA No. VI-19

FECHA: ENE-84



**% DE OXIGENO EN LA CHIMENEA
ABAJO DEL SELLO**

REF. No. 16

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

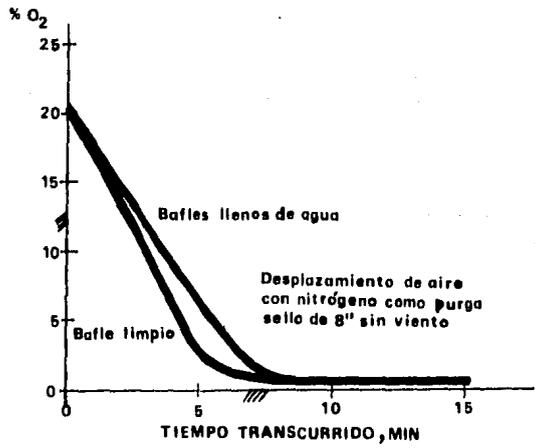
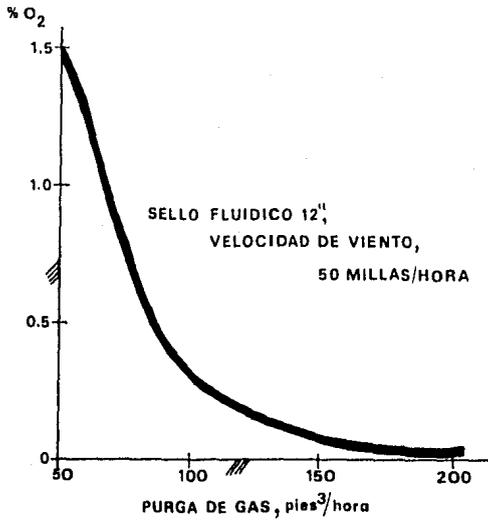
TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. Vs. DR. CARITINO MORENO

Esc. *[Signature]*

FIGURA No.
VI-21

FECHA:
ENE-84



% O₂ CONTRA EL FLUJO DE PURGA Y TIEMPO TRANSCURRIDO

REF. No. 16

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. Vº. Bº CARITINO MORENO

ESC.

FIGURA NO. VI-22/VI-23

FECHA: ENE-84

del oxígeno en la chimenea en la parte inferior del sello fluidi
co, para un sello de 12 pulgadas de diámetro.

La fig. No. VI-23 muestra la gráfica del porcentaje del oxígeno contra el tiempo de purga, con dos alternativas; Para ba
fles limpios y baffles llenos de agua.

Los gases apropiados para la purga son gas natural, pro
pano, nitrógeno, anhídrido carbónico o butano, arriba de 32°F. -
El vapor como volúmen de purga no es recomendado por dos razones:

a) El vapor esta a elevada temperatura y el contenido de vapor en el quemador deberá disminuir o mermar como vapor frio y se condensará, por lo que, arrastrará aire al interior de la chimenea.

b) El vapor condensa y el agua se rezagará en el sistema y lo bloqueará potencialmente, el enfriamiento por la acción moja
da provoca la aceleración de la corrosión.

Nominalmente, el flujo de gas de purga depende del peso molecular y el diámetro del quemador por la relación:

$$CFH = b M^{-0.565} d^3$$

Donde:

b = Constante basada en métodos experimentales con un --- quemador de 24 pulgadas de diámetro y nitrógeno como gas de purga.

M = Peso molecular del gas de purga.

d = Diámetro del sello

Para diferentes diámetros, se puede utilizar el nomograma, preparado en la fig. No. VI-24

RAZONES DE FLUJO DE PURGA DE GAS PARA CHIMENEAS
EN QUEMADORES ELEVADOS

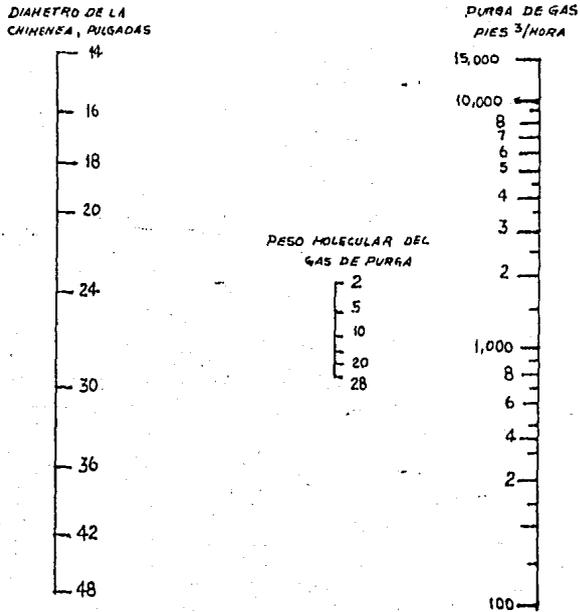


FIG. VI-24

En cualquier caso, el flujo de gas de purga depende del diseño del sello y deberá ser dado por el fabricante del mismo.

VI-9 CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE LAS CHIMENEAS

La chimenea es considerada la tercera parte fundamental de los quemadores elevados. En la sección VI-3, se mencionó que la velocidad del gas en la punta de una boquilla, arriba de 0.2 -

Mach resulta un levantamiento de la flama en la boquilla. Este -- fenómeno fué referido como una descarga la cual es causada por -- condiciones de inestabilidad de la flama cuando se descarga en a -- ire calmado.

La velocidad de descarga puede ser excedida, pero es de -- esperarse que la combustión tomará lugar a alguna distancia de la -- punta de la chimenea donde la velocidad es suficientemente reduci -- da (por mezcla) para permitir una flama estable.

El flujo máximo en un quemador resulta de un relativo ac -- cidente repentino en la operación de la planta, tal como, la falla -- de enfriamiento de agua a los condensadores y enfriadores de ca -- lor, fuego local, bloqueo en un sistema volátil, etc. Entonces es -- de esperarse que la presión de relevo al sistema sea por un perí -- odo corto de tiempo. El flujo normal en un quemador puede ser al -- terado por la avería de una válvula de seguridad que regularmente -- está programada para el relevo de un equipo.

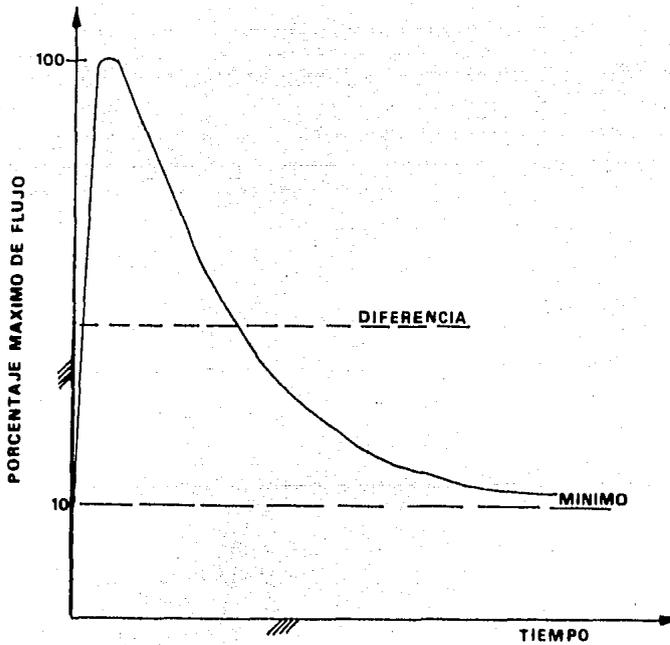
La cantidad de flujo normal generalmente es supuesta cer -- ca del 10 % en rangos de flujo para plantas de flujo máximo.

La fig. VI-25 muestra que el flujo probable el cual pue -- de esperarse ocurre cuando el flujo es máximo.

La diferencia repentina del rango de un flujo pico dismi -- nuye rápidamente cuando el sistema de presión es relevado. La dis -- minución de presión en el sistema para el rango de flujo máximo -- puede ser aproximado por una función logarítmica.

Se sugiere que la diferencia de descarga a ser usada por -- la velocidad limitante del gas sea de 0.2 Mach a través de la chi -- menea. Podemos entonces considerar (para cierto gas inicial sopla -- do), la velocidad de salida en la chimenea puede ser permisible a -- exceder el límite de descarga de 0.2 Mach.

HP



MODELO TÍPICO DE FLUJO PARA LA
DESCARGA DE GAS EN LA CHIMENEA

REF. No. 7

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

Dir: JESUS SOLIS G. V. B. CARITINO MORENO

Eac.

FIGURA No.

VI-25

FECHA:

ENE-84

Se puede hacer una estimación del flujo medio como un porcentaje del flujo máximo utilizando una media logarítmica.

$$\% \text{ Rango flujo medio} = \frac{100 - 10}{\ln \frac{100}{10}} = 39.2 \% \text{ M\acute{a}ximo}$$

Se recomienda un rango del 40 % de flujo máximo a ser usado para la diferencia de rango en flujo a través de la chimenea, o por una velocidad igual a 0.2 Mach para la diferencia del rango de flujo, podemos definir la máxima velocidad como sigue:

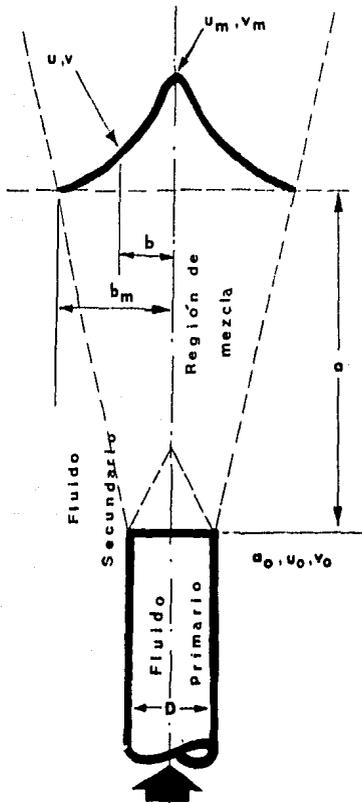
$$u_m = \frac{0.2 \text{ Mach}}{0.4} = 0.5 \text{ Mach}$$

El efecto de una velocidad de salida en una chimenea excediendo el límite de descarga se manifiesta el levantamiento de la flama arriba de la punta de la chimenea (suponiendo que la descarga es en aire calmado).

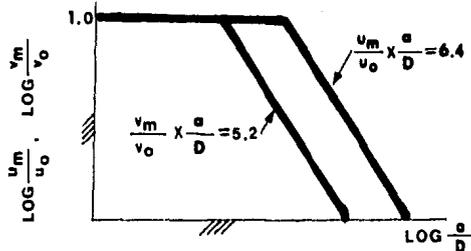
Una ventaja resultante es la altura de la chimenea de descarga, la premezcla resultante del aire con el gas mejora el proceso de combustión y en consecuencia la longitud de flama disminuye. Forstall y Gaylord han investigado la mezcla resultante de un fluido sin otro efecto debido a la boquilla de descarga. Su estudio muestra una clara relación existente entre la fracción de volumen (v) y la velocidad (u) a la distancia de la boquilla (a).

La fig. No. VI-26 ilustra el modelo de flujo de fluido en la zona de mezcla.

La fig. No. VI-27 muestra los resultados de pruebas las



Relación de la velocidad y volumen de concentración
 contra la distancia a diámetro del quemador



MODELO TÍPICO DE FLUJO PARA LA VELOCIDAD DE MEZCLA

REF. No.7

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vo. de CARITINO MORENO

ESC. *[Signature]* FIGURA No. VI-26/VI-27 FECHA: ENE-84

cuales referidos a la fracción volumen y la velocidad con la distancia de salida en la boquilla. Aunque las pruebas fueron basadas en líquido, Hottel, ha demostrado cuidadosamente los resultados para flujos de aire en boquillas.

Es razonable suponer, que la combustión de gases es iniciada cuando la velocidad axial es de 0.2 Mach.

Gaylord ha indicado una aproximación cerrada por una función coseno con velocidad observada y perfil de fracción volumen; Entonces, la diferencia del valor puede ser determinado por el producto de $\pi/4$ y el máximo valor.

De la fig. No. VI-27 desarrollamos las siguientes relaciones:

Velocidad (u)

$$\frac{u_m}{u_o} \times \frac{a}{D} = 6.4$$

$$u_a = \frac{\pi}{4} u_m$$

$$\frac{4}{\pi} \times \frac{u_a}{u_o} \times \frac{a}{D} = 6.4$$

$$a = 6.4 \frac{\pi D}{4} \times \frac{u_o}{u_a}$$

Por diseño: $\frac{u_o}{u} = \frac{0.5 \text{ Mach}}{0.2 \text{ Mach}}$

$$= 12.57 D$$

Fracción Volúmen (v)

$$\frac{v_m}{v_o} \times \frac{a}{D} = 5.2$$

$$v_a = \frac{\pi}{4} v_m$$

$$\frac{4}{\pi} \times \frac{v_a}{v_o} \times \frac{a}{D} = 5.2$$

$$v_a = \frac{5.2 \pi v_o D}{4 a}$$

Pero $v_o = 1$; $v_a = \frac{4.08 D}{a} = 0.325$

De esta manera un valor para una flama levantada y la diferencia de la fracción volumen es establecida.

Hottel ha presentado datos por medio de Bevans en forma de gráfica indicando que existe una relación lineal entre la longitud de flama y el diámetro de la boquilla (L/D) y la relación combustible-aire (W_f/W_a), y la relación puede ser expresada como:

$$\frac{L}{D} = 120 \frac{W_f}{W_a}$$

La fracción volumen de combustible al punto de ignición ($u_a = 0.2$ Mach) diseñado (v_a) es mezclado con el aire teniendo una fracción volúmen de ($1 - v_a$), entonces:

$$\frac{W_f}{W_a} = \frac{(m_f) (v_a)}{28.9 (1 - v_a)}$$

Por lo que la ecuación $L = 120 D$ se refiere al diámetro a la base de la flama, cuando ocurre el levantamiento; $D = D_a$,

Por diseño;

$$\frac{W_f}{W_a} = \frac{0.325 m_f}{28.9 \times 0.675} = 0.0167 m_f$$

Y la relación L/D_a ;

$$\frac{L}{D_a} = 120 \times 0.0167 m_f = 2.5 m_f$$

El máximo valor de (L/D) es fijado por las condiciones desarrolladas por G. R. Kent, el cual para una velocidad de 0.2-Mach es igual a 120.

Para obtener un valor para D_a , determinamos un diámetro para la razón de flujo el cual corresponde con una diferencia de la velocidad del gas de 0.2 Mach .

$$D_a = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{W_f + W_a}{\pi u_a \rho}}$$

La altura de la chimenea, así como, la relación geométrica de la flama requiere de un análisis más detallado que será tratado en el capítulo No. VII, sección 4, con una base sólida e importante acerca del calor de radiación y el tiempo de escape.

Un dimensionamiento muy simple y sencillo de un sistema de quemadores como son el ducto de la chimenea, los cabezales y las tuberías de desfogue, serán tratados en el capítulo No. VII, sección 8, dedicado al diseño y dimensionamiento de quemadores.

Otra parte fundamental del sistema de tratamiento de efluentes gaseosos y/o líquidos son los denominados tanques separadores y sellos de agua, su dimensionamiento fué estudiado en el capítulo No. V, dedicado a ellos específicamente.

La radiación que recibe la propia chimenea y sus estructuras para soporte tales como la cableada, la torre de soporte y demás accesorios es estudiada en la sección 6 del capítulo No. VII. Debido a que las temperaturas a lo largo del quemador y estructuras mismas no son uniformes, se presenta un patrón de perfiles de temperatura desde la base hasta la parte superior, así como, el enfriamiento de la estructuras bajo la influencia del viento.

Por último, el sistema de ignición de pilotos y la ingeniería de los mismos serán tratados en el capítulo No. IX.

CAPITULO VII

MODELOS PARA LA PREDICCIÓN DE LA RADIACION TERMICA PARA CADA QUEMADOR Y CRITERIOS TECNICOS DE DISEÑO

VII-1 PREDICCIÓN DEL CALOR RADIANTE EN LOS QUEMADORES

VII-1-1 Introducción.

En el desarrollo actual de proyectos, la tendencia ha sido hacia quemadores cada vez más grandes. Esta tendencia se refleja no sólo en el aumento en la capacidad de la planta, sino también en el estrechamiento de los controles de contaminación aérea que requieren que haya más válvulas de seguridad y orificios de ventilación en las instalaciones cerradas de evacuación.

Una liberación de emergencia de un quemador tal, puede producir una flama de varios pies de largo, que libera decenas de miles de millones de BTU por hora y radia una fracción substancial de esta cantidad a su ambiente inmediato. Para un diseño seguro y económico fuera de lugar bajo estas condiciones, se tiene que predecir el calentamiento radiante de los quemadores elevados tan exactamente como sea posible. En consecuencia, los métodos desarrollados a partir de la experiencia en proyectos más pequeños no deben extrapolarse a los nuevos proyectos largos a menos que hayan sido revisados críticamente.

En esta sección se describen los resultados de tal revisión. En algunos casos, el trabajo llegó a una etapa en donde es posible recomendar un procedimiento. En otros, se ha desarrollado un procedimiento que parece ser útil, pero el trabajo para fundamentarlo aún está en estudio. Con todo esto, ha surgido un patrón de procedimientos e información requeridos para calcular el calen

tamiento del calor radiante de quemadores elevados con exactitud requerida por la economía de hoy en día.

VII-1-2

Radiación de flamas abiertas.

La radiación de las flamas abiertas es muy extensa y ca si no está muy bien comprendida como la radiación de las flamas en los hornos.

Se piensa que la radiación térmica de una flama de cualquier hidrocarburo proviene de dos fuentes:

- a) El CO_2 y H_2O calientes que emiten principalmente en el infrarrojo y no contribuyen a la luz visible emitida por la flama (radiación no luminosa).
- b) Partículas sólidas de coque ordinario u hollín que se queman en la flama y emiten una radiación continua en el rango de longitud de onda de la luz visible hasta la infrarroja. Estas partículas emiten la mayoría de la luz visible de la flama (radiación luminosa). La radiación azul de quimiluminiscencia característica de las zonas de reacción de aire de hidrocarburos bien mezclados, contribuye casi con nada a la transferencia de calor radiante de la flama.

En la actualidad hay evidencia de que una parte significativa de la radiación luminosa viene de los intermediarios gaseosos en la reacción que producen las partículas sólidas.

La comprensión detallada de la radiación de la flama ha conducido al desarrollo de técnicas exactas para predecir la --- transferencia de calor radiante en los hornos mismas que usan -- los ingenieros. Sin embargo, en el caso de extensas flamas abiertas tal información detallada no existe, y no se tienen técnicas

exactas disponibles para predecir la radiación.

En toda la industria de procesamiento de hidrocarburos, la radiación de flamas se predice a partir de una descripción -- global de flamas abiertas. Se modela la flama como una fuente de punto de radiación térmica, emitiendo una fracción F de la tasa de liberación de calor Q. El flujo de calor radiante K incidente por unidad de área en una superficie localizada a una distancia X del punto de la fuente emisora es:

$$K = \frac{(F) (Q)}{4\pi X^2} \quad (\text{VII-1})$$

Despejando X, tenemos:

$$X = \sqrt{\frac{(F) (Q)}{4\pi K}} \quad (\text{VII-2})$$

La ecuación VII-2 está citada en el API RP 521 como la ecuación recomendada para calcular el espaciado alrededor de las flamas presentadas por la Bureau of Mines (Oficina de Minas) sobre la radiación de las flamas que resultan de la difusión gaseosa y de las flamas de depósitos líquidos, ambas en aire tranquilo o en calma. Estos datos contienen los valores de F para diversos combustibles en quemadores de tamaño que va en aumento, de manera que es posible la extrapolación de flamas muy grandes. Se pretende que el valor de F es una propiedad característica de -- combustible y que se aplica a todas las flamas por difusión de -- este combustible. La tabla No. VII-1 lista los valores de F para cierta cantidad de gases. Los números listados se redondean a valores máximos de F. Para todos los gases excepto el etileno y el metano, estos valores de F se midieron en el quemador más grande de diámetro probado. Estos gases mostraron una F máxima en un -- diámetro intermedio. Este comportamiento refleja la extensión en la cual se simplifica la situación real en el criterio F. Sin em

TABLA VII-1

LISTA DE VALORES DEL FACTOR "F" PARA CIERTOS GASES

<u>GAS</u>	<u>F, %</u>
METANO	16
HIDROGENO	17
GAS NATURAL	23
PROPANO	33
BUTANO	36
ETILENO	38
HIDROCARBUROS	40

bargo, el uso de un modelo punto-fuente y los factores F para predecir el calor radiante de las flamas es muy atractivo para el proyectista, debido a que utiliza información que se tiene disponible con facilidad y rapidez aún en la etapas preliminares del diseño.

VII-1-3

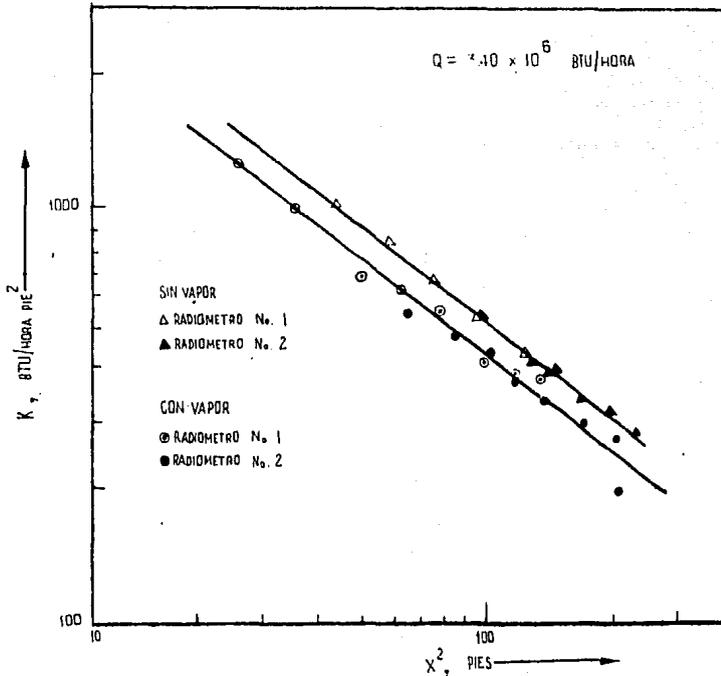
Examen del Modelo Punto-Fuente.

Resulta fácil creer que una llama pequeña en la parte superior de un quemador elevado, actúa de una manera muy parecida a un punto-fuente de radiación. Es mucho más difícil creer que una flama grande en condiciones en la que sopla el viento también puede representarse por un punto-fuente. No obstante, debido a que el modelo del punto-fuente ofrece una gran sencillez matemática, es una herramienta atractiva de diseño. El trabajo descrito en esta subsección se llevo a cabo para determinar que tan exacta puede ser la geometría del punto-fuente para grandes flamas en condiciones en la que sopla el viento.

La primera prueba fué experimental. Se quemó propano en un quemador modelo, un tubo de 1 pulgada y 5 pies de largo equipado con boquillas. Dos radiómetros midieron K . Uno se montó con viento transversal hacia el quemador, y el otro en una línea de 60° con viento a favor. La flama en una brisa suave era casi vertical, con una deflexión con el viento de cerca de un pie por una longitud de flama de 8 pies. K se registró en diversas distancias de la flama, con los radiómetros siempre orientados al centro de la flama.

Los resultados se presentan en la fig. No. VII-1. Sobre un rango de X de menos de una flama de longitud hasta sólo dos longitudes de flama K disminuyó conforme X^2 se elevaba a la potencia -0.824 . Este es un valor notablemente cercano al $1/X^2$ esperado del modelo de punto-fuente es muy exacta aún estando cerca de la flama.

RESULTADOS EXPERIMENTALES EN UN QUEMADOR
 PROTOTIPO PARA OBTENER LA INTENSIDAD DE
 RADIACION TERMICA



RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA
 LA RADIACION TERMICA

REF. No. 6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G.

Va. Bo CARITINO MORENO

Esc.

FIGURA No.

VII-1

FECHA:

ENE-84

La segunda prueba de la geometría fue más detallada. Consideró la capacidad del modelo del punto-fuente para predecir --- exactamente el efecto de la orientación de la superficie receptora es decir, si era horizontal o vertical, con viento transversal o con viento a favor.

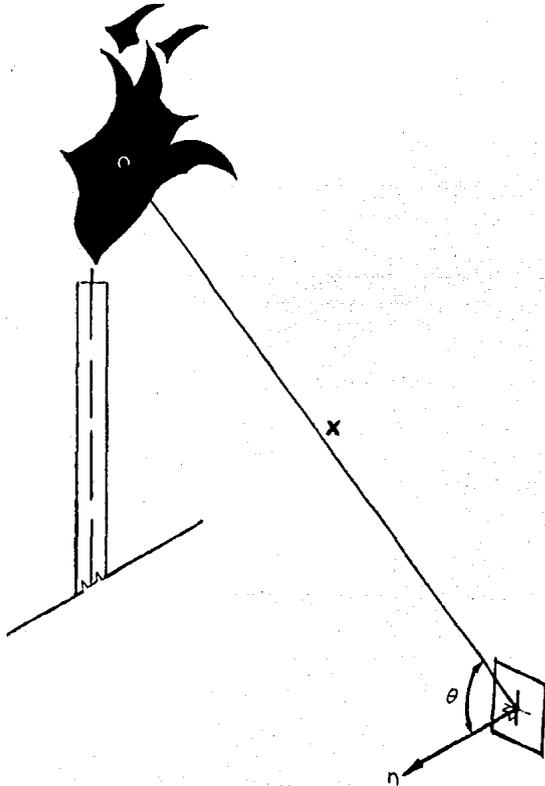
Para comenzar, el valor de K predicho por medio del punto-fuente, de la ecuación 1, sólo se aplica cuando la superficie iluminada es normal al haz y muy pequeño en relación a $4\pi X^2$. La dirección del haz es la línea de mira que va desde el centro de la flama hasta la superficie iluminada. Para cualquier otra orientación, el flujo de calor radiante incidente sobre la superficie se ve reducido según el coseno del ángulo entre el haz y la normal a la superficie. En otras palabras, si el centro de la flama "mira" a la superficie receptora en cierto ángulo, ve a un área más pequeña. La fig. No. VII-2 muestra este efecto. La tasa a la cual la superficie recibe la radiación del punto-fuente es:

$$K = \frac{(F) (Q)}{4\pi X^2} \cos \theta \quad (\text{VII-3})$$

Donde θ = ángulo entre la normal a la superficie y la línea de mira desde el centro de la flama. A esta ecuación se le hará referencia como la fórmula del punto-fuente corregido.

La exactitud geométrica de la ecuación 3 para flamas --- grandes expuestas al viento se examinó mediante un ensayo severo. La flama o llamarada expuesta al viento se modelo como un cilindro circular recto que se extiende originalmente a favor del viento desde la punta de la boquilla del quemador. Los patrones de radiación calculados a partir de una diversidad de tales flamas se compararon con los patrones predichos tanto por la fórmula del punto-fuente corregido como con la no corregida, y en el mismo valor de (F) (Q).

GEOMETRIA DE LA RADIACION DEL PUNTO-FUENTE
A UNA PEQUEÑA SUPERFICIE



GEOMETRIA DE UNA FLAMA ABIERTA

REF. No. 6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. | Vo. 130 CARITINO MORENO

ESC. *H*

FOLIO No. VII-2

FECHA: ENE-84

Los patrones de radiación se calcularon a partir de las superficies horizontales, de las superficies verticales paralelas al viento y de superficies verticales en contra del viento o a favor del viento. En estas tres clases de elementos de superficie se consideran básicos en el sentido de que el calor radiante de casi cualquier estructura se puede analizar en términos de ella.

Para la flama en el cálculo de prueba, se escogieron arbitrariamente la emisividad y la temperatura como $\epsilon_f = 0.4$ y $T_f = 2540^\circ\text{F}$. Las combinaciones de la longitud de flama, diámetro de la flama, y altura del quemador, escogidas para las comparaciones se presentan en la tabla No. VII-2. Los valores resultantes de FQ también se exponen. Estos valores se utilizaron en las ecuaciones 1 y 3 para calcular la K predicha por fórmulas de punto-fuente corregida.

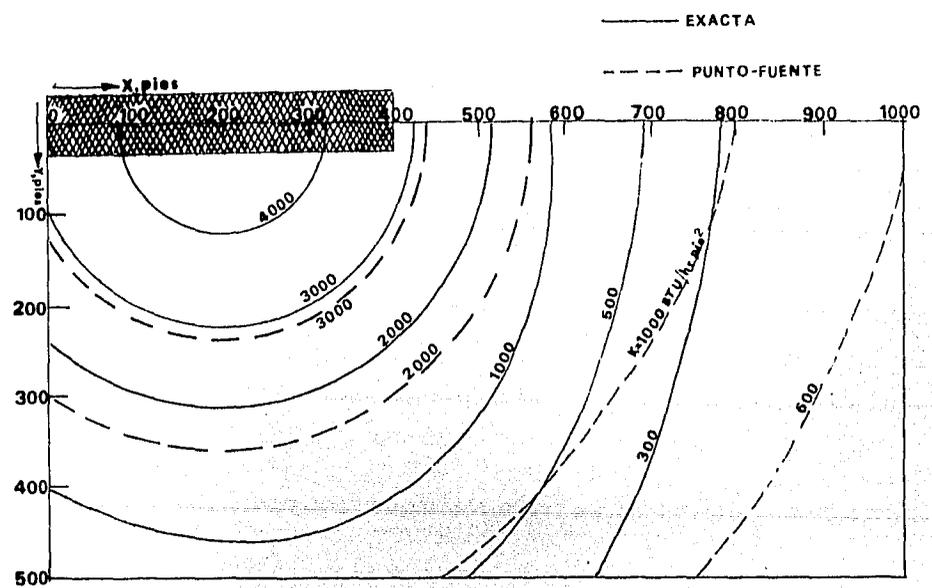
Los valores de K predichos por el modelo de flama cilíndrica se calcularon a partir del mismo valor de FQ por métodos estándares de transferencia de calor por radiación entre superficies.

Los resultados de la comparación se muestran en la figs. Nos. VII-3, 4, 5, 6 y 7. La fig. No. VII-3 exhibe la radiación incidente por unidad de área de una superficie horizontal a nivel, tal como fue predicha por la fórmula del punto-fuente no corregida y por el modelo de cilindro de flama. La flama radia 5.6 MMM BTU/hr, una cantidad que corresponde a una liberación de cerca de 1.1 MM libras/hora de C_2 o cerca de 700 M libras/hora de C_5 y de hidrocarburos más pesados. Los contornos de la constante K muestran que la fórmula del punto-fuente se vuelve cada vez más conservadora para tales superficies con el aumento de la distancia del centro de la flama. La fórmula del punto-fuente corregida se comporta más o menos de la misma forma que la fórmula del punto-fuente, pero menos conservadora lejos de la flama.

TABLA VII-2

PARAMETROS USADOS EN LA COMPARACION DE LAS FORMULAS DE
RADIACION EN QUEMADORES ELEVADOS

<u>ALTURA</u> <u>CHIMENEA, PIES</u>	<u>LONGITUD DE</u> <u>FLAMA, PIES</u>	<u>DIAMETRO DE</u> <u>FLAMA, PIES</u>	<u>FQ</u> <u>MM BTU/HR</u>
200	200	40	1.40
200	300	60	3.14
300	300	60	3.14
200	400	80	5.59
300	400	80	5.59



Comparación de la radiación incidente
a nivel por unidad de área de una
superficie vertical paralela al viento

REF. No.6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

Dib: JESUS SOLIS G. Va. Doc: CARITINO MORENO

Esc. *H* FIGURA No. VII-3 FECHA: ENE-84

La radiación a un elemento de superficie vertical a nivel y paralelo al viento se presenta en las fig. Nos. VII-4 y 5.- La fig. No. VII-4 muestra que la fórmula del punto-fuente no corregida es inadecuada en este caso. La K es pequeña bajo la flama debido a que la flama mira poco de la superficie vertical que está casi bajo ella. Este efecto produce los contornos cerrados de K . La fig. No. VII-5 expone que una simple corrección en la ecuación 3 predice contornos de K que son muy exactos.

La fórmula del punto-fuente corregida, es menos exacta cuando se trata de predecir la radiación a una superficie vertical que da la cara en contra del viento o a favor del viento. Las figs. Nos. VII-6 y 7 muestran que el error es más grande en la región del viento transversal desde el centro de la flama. (Las curvas se calcularon para una superficie de 75 pies arriba del nivel para exagerar los efectos de la proximidad de la flama).

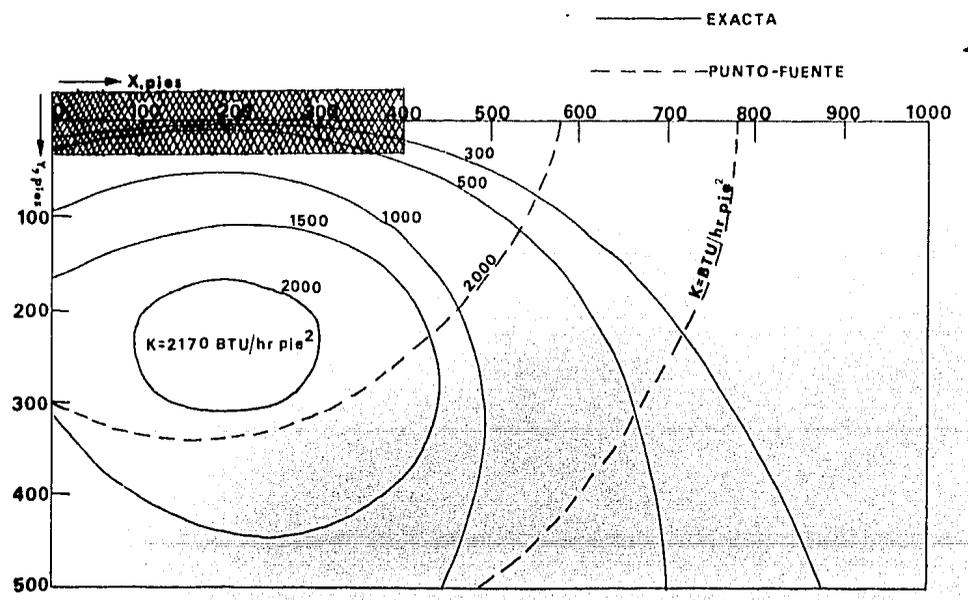
Aún con el error bajo estas condiciones, la fórmula del punto-fuente corregida permanece siendo una herramienta útil del diseño debido a que las decisiones del diseño en esta región se basarán probablemente en la radiación de otros dos tipos de elementos de superficie que se predice exactamente.

Los resultados que se exponen en las figs. Nos. VII-3 a 7 muestran que la distribución geométrica de la radiación se predice con exactitud útil por medio de la fórmula del punto-fuente, corregida para la orientación de superficies receptoras fijas tal como se requiere.

VII-1-4

Absorción Atmosférica.

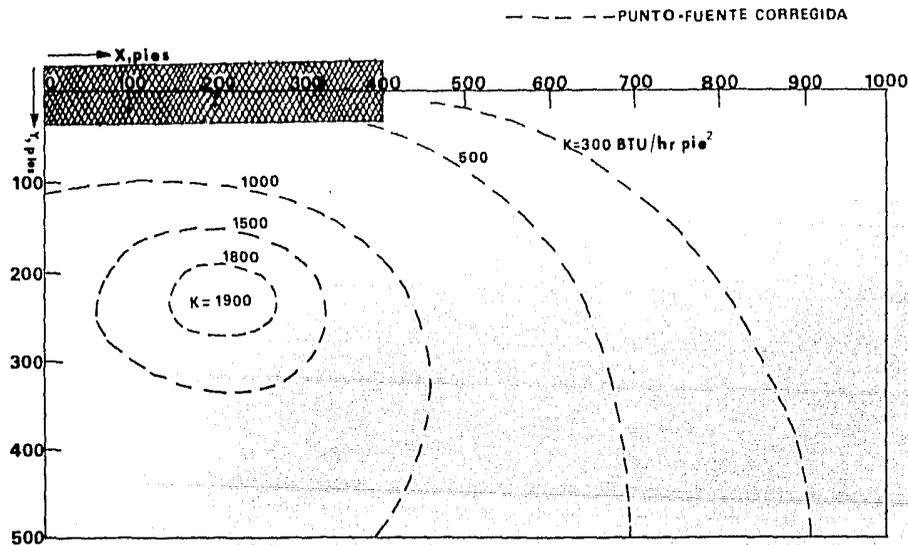
El vapor de agua en la atmósfera absorbe la radiación térmica a las mismas longitudes de ondas en donde el vapor de agua en los productos de la combustión contribuye a la radiación de la flama. Para flamas luminosas, esta atenuación se describe -



Comparación de la radiación incidente por unidad de área de una superficie horizontal

RFE. No. 6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL
DIB: JESUS SOLIS G. Vo. CARITINO MORENO
ESC. *H* FIGURA No. VII-4 FECHA: ENE-84

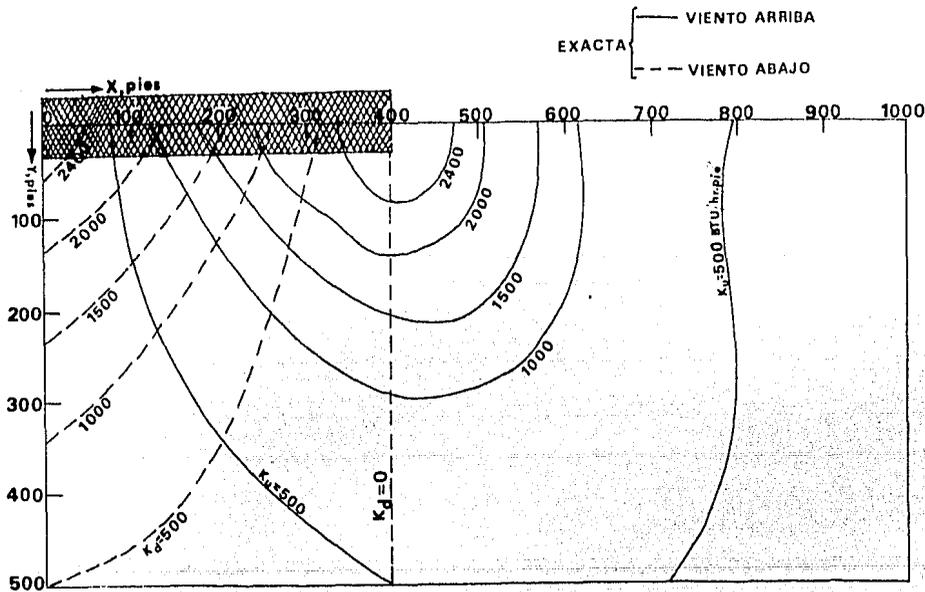


**Radiación incidente a nivel por unidad
de área de una superficie vertical
paralela al viento dada
por la solución exacta
REF. No. 6**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

Dir. JESUS SOLIS G. Va. Sr. CARITINO MORENO

Esc.  FIGURA No. VII-5 FECHA: ENE-84



Radiación incidente a nivel por unidad
de área de una superficie perpen-
dicular al viento dada por la
solución exacta

REF. No.6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. Vo. Bn. CARITINO MORENO

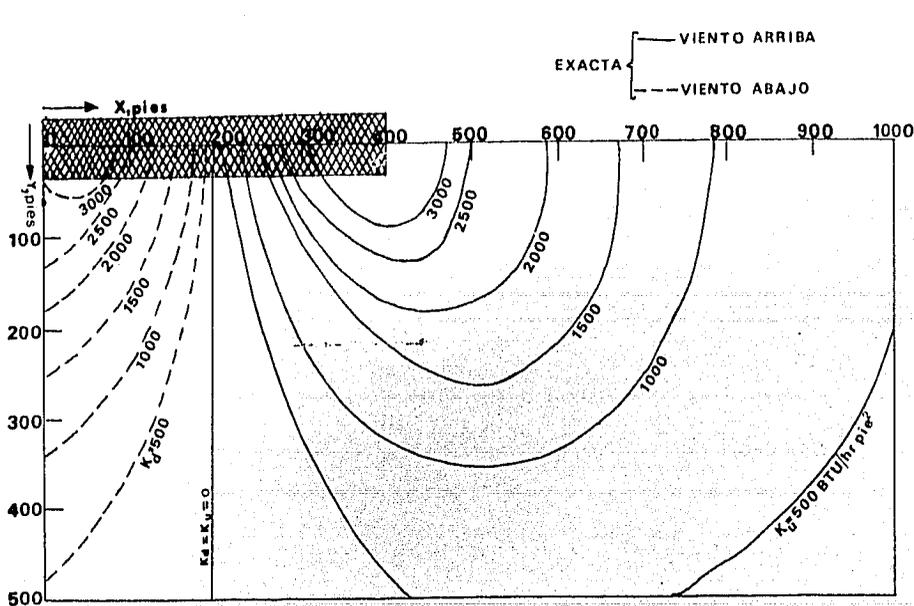
Esc.

FIGURA No.

FECHA:

VII-6

ENE-84



Radiación incidente a nivel por unidad de área de una superficie vertical perpendicular al viento dada por la forma corregida

REF. No. 6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vo. B CARITINO MORENO

ESC. *[Signature]*

FIGURA No. VII-7

FECHA: ENE-84

por la absorcividad de la húmedad del aire para una radiación de cuerpo negro a la temperatura de flama. En este caso, se utilizan los diagramas de Hottel para tomar en cuenta los efectos de la húmedad relativa y de la distancia entre la flama y la superficie iluminada. Para flamas en las cuales la radiación no luminosa de H_2O caliente contribuye con una parte significativa de la energía total emitida, la absorción por vapor de agua en la atmósfera tiene un efecto atenuador mayor. Hay muy pocos datos sobre este proceso, pero estos muestran que la radiación de las flamas de hidrógeno y metanol se ven atenuadas mucho más que la radiación de una flama de hexano.

En el caso de quemadores, la absorción atmosférica atenua a K en cerca de un 10 a 20 % sobre distancias de 500 pies. La ecuación empírica dada a continuación se obtuvo graficando transversalmente las absorcividades calculadas de los diagramas de Hottel. Sólo se aplica estrictamente bajo las siguientes condiciones: Flama luminosa del hidrocarburo radiando en $2240^{\circ}F$, $80^{\circ}F$ en una temperatura ambiente de bulbo seco, húmedad relativa de más de un 10 %, distancia de la flama entre 100 y 500 pies, pero se le puede utilizar para estimar el orden de magnitud de bajo un rango más amplio de condiciones.

$$\tau = 0.79 \left[\frac{100}{r} \right]^{1/16} \left[\frac{100}{X} \right]^{1/16} \quad (\text{VII-4})$$

Donde:

τ = Fracción de K transmitida a través de la atmósfera.

r = Húmedad relativa, %

X = Distancia de la flama a el área iluminada, pies.

La ecuación 4 demostrará ser adecuada para la mayoría de los quemadores de gases, excepto que hidrógeno y el sulfuro de

hidrógeno que se queman con poca o ninguna radiación luminosa. Si las condiciones de diseño anticipadas son muy diferentes de aquellas bajo las cuales se derivó la ecuación 4, el proyectista deberá referirse a los diagramas de Hottel o bien calcular τ punto por punto u obtener la ecuación empírica aplicable a estas condiciones.

Para flamas de hidrógeno, se propone una ecuación que tiene la siguiente forma:

$$\tau = e^{-0.001rP_w D} \quad (\text{VII-5})$$

Donde:

P_w = Presión de saturación de agua a la temperatura ambiente, libras/pulgada² absolutas.

La ecuación 5 predice una atenuación en extremo rápida de la radiación de una flama de hidrógeno. Puesto que r está típicamente dentro del rango de 40 a 100 y P_w está cerca de 0.4 psia, $\tau \approx \exp(-0.04D)$. Esto significa que el 98 % de la radiación es absorbida por la humedad del aire en los primeros 100 pies de la flama.

Sin embargo, la ecuación 5 debe de ser considerada con mucha precaución por las siguientes razones:

- a) Los datos sobre los cuales se basa son sólo dos mediciones de la absorción por ciento hecha con vapor en una celda muy pequeña.

Debido a la cantidad de características experimentales tales como efectos del viento y errores de escalas, los datos pueden tener un error en el lado alto.

- b) La ecuación dada sólo se aplica a la llama de hidrógeno puro.

Aún una pequeña cantidad de hidrocarburos en una flama de hidrógeno contribuirá a una radiación no luminosa del CO_2 y una radiación luminosa del carbono que se quema y ambas serán absorbidas en menor extensión por la humedad de aire. Como resultado la ecuación 5 no se recomienda para quemadores de hidrógeno u orificios de ventilación en los cuales se pueda encontrar algo más que un rasgo de hidrocarburos.

En tales casos, se debe utilizar la ecuación 4. El coeficiente de transmisión atmosférica τ dado por la ecuación 5 se trata como el valor más bajo posible para la radiación de las flamas de hidrógeno muy puro, tales como las que resultan de los tanques de hidrógeno líquido.

Se debe acentuar que los efectos de absorción descritos anteriormente, son aquellos que tienen lugar en "aire limpio". Cualquier niebla, humedad, humo de torre de enfriamiento, etc. entre el quemador y el receptor conduce a un τ mucho más pequeño de lo que se predijo.

VII-1-5 Factores F

Los resultados experimentales de la fig. No. VII-1 han demostrado que el modelo de punto-fuente es exacto aún dentro de una o dos longitudes de flama desde el quemador. Sin embargo, los mismos datos muestran que F depende de como se queme el combustible.

El quemador modelo se equipó con un dispositivo para inyectar vapor en la flama de gas y mezclarlo completamente hacia arriba de la punta de la boquilla. El efecto del vapor sobre las mediciones de radiación se presentan en la tabla No. VII-3.

TABLA VII-3

EFEECTO DEL VAPOR EN LAS MEDICIONES DE LA RADIACION

Q MM BTU/HR	LIBRAS VAPOR/ LIBRAS C ₃ H ₈	VELOCIDAD DE DESCARGA BOQUILLA u _j , PIES/SEG	K BTU/HR PIE ²	F RELATIVA
3.4	0	85	$\frac{2.27 \times 10^4}{(x^2) 0.824}$	1
3.4	0.33	150	$\frac{1.82 \times 10^4}{(x^2) 0.824}$	0.80

Hay una disminución del 20 % en F cuando se quema el mismo gas a la misma tasa, pero con vapor añadido y la velocidad de descarga aumentada.

Los resultados de otro conjunto de experimentos quedan listados en la tabla No. VII-4.

El resultado importante de estos experimentos es la variación relativa de F con el vapor y con la velocidad de descarga, aparece clara una tendencia. En el modelo de un quemador se incrementa la velocidad de descarga y disminuye F. Con los datos que se tienen disponibles ahora, poco se puede decir acerca del efecto preciso del vapor sobre la radiación y acerca de la magnitud de F en quemadores de escala total. Estas proposiciones deben esperar los resultados de experimentos diseñados cuidadosamente sobre la radiación y sobre mezclas en flamas de difusión turbulenta con viento transversal y en las leyes de escala basadas en estos resultados.

Un programa de investigación establecido para suministrar estas respuestas está siendo llevado a cabo en un estudio minucioso, los datos de F citados en el API RP 521 parecen ser los mejores que se tienen disponibles.

Se realizó un conjunto final de experimentos en este grupo para ver que tanta radiación cae sobre la superficie que estaba expuesta al extremo de la flama. En la práctica, tales datos son útiles para calcular K en cualquier equipo que sea casi tan alto como la llamarada y dentro de dos o tres longitudes de flama de la chimenea. Los resultados se expresan en términos de factores F en la tabla No. VII-5. Este procedimiento utiliza la fórmula del punto-fuente corregida. Los factores de F con viento transversal corresponden a los datos de la tabla No. VII-4. Nuevamente, la tendencia es más significativa que los valores de --
s F.

TABLA VII-4

DEPENDENCIA OBSERVADA DEL FACTOR "F" EN VAPOR Y LA VELOCIDAD DE DESCARGA

Q MM BTU/HR	LIBRAS VAPOR LIBRAS C ₃ H ₈	VELOCIDAD DE DESCARGA BOQUILLA u _j , PIES/SEG	F
2.50	0	59	0.20
2.50	0.48	128	0.15
2.50	0	226	0.16
2.50	0.23	344	0.10
1.22	0	29	0.25
1.22	0	107	0.23

TABLA VII-5

FACTOR "F" EFECTIVO DE LA FLAMA DEPENDIENDO DE LA POSICION RELATIVA DE LA FLAMA

VIENTO TRANSVERSAL	VIENTO A FAVOR
0.20	0.32
0.15	0.22
0.16	0.17
0.10	0.12
0.25	0.32
0.23	0.26

En todos los casos, la flama vista desde el extremo parece radiar 60 % más que a una distancia mayor. Este comportamiento es nada más que una medición del error en el modelo punto fuente cercano a la flama. Sin embargo, si este modelo se retiene para su conveniencia, se tiene que utilizar una F efectiva -- más alta para los cálculos de K , para superficies que ven hacia el extremo de la flama.

VII-1-6

Datos a Escala Completa.

Las mediciones de radiación hechas por Zelten, un gas - con peso molecular de 26, fue quemado en un quemador de servi--- cios proporcionaron una oportunidad para verificar la exactitud- absoluta de la fórmula con el centro localizado con viento a fa- vor de la chimenea. Puesto que el radiómetro siempre apuntaba ha- cia la flama, $\cos \theta = 1$ y las dos fórmulas del punto-fuente son - idénticas. En la tabla No. VII-6 los valores medidos de K se com- paran con los valores predichos por la fórmula punto-fuente con- F , Q de la tasa de la llamarada medida, el centro de la flama -- fue localizado con fotografías y se corrigió la absorción atmos- férica tal como se describió en la subsección anterior. Puesto - que la chimenea de la flama Zelten sólo era de 40 pies de alto - y las flamas se elevaron hasta 200 pies de largo, se hace la com- paración bajo condiciones en que no se puede esperar una buena - exactitud geométrica. Los resultados de sólo dos corridas de ca- da seis se listan, pero los datos son típicos.

Aunque no se tiene disponible un análisis de error de - los datos, se pueden extraer las siguientes conclusiones genera- les:

- a) Los valores calculados de K no difieren grandemente- en su magnitud de los valores medidos, un resultado- notable en vista de la longitud de flama, la poca al

TABLA VII-6

COMPARACION ENTRE LA RADIACION MEDIDA EN PRUEBA A
ESCALA COMPLETA Y CALCULO DEL FLUX DE CALOR "K"

K, BTU/HORA PIE²

LOCALIZACION	MEDIDA	CALCULADA
CASO No. 1 (160 PIES DE FLAMA)		
100 PIES VIENTO TRANSVERSAL A LA CHIMENEA	3200	2540
200	1220	1055
300	730	528
400	522	310
500	275	203
100 PIES VIENTO TRANSVERSAL AL CENTRO DE LA FLAMA	3780	3780
200	1700	1050
300	815	568
400	443	323
500	275	208
200 PIES VIENTO A FAVOR DE LA CHIMENEA	2890	3050
300	1280	2060
400	660	513
500	373	300
CASO No. 4 (120 PIES DE FLAMA)		
100 PIES VIENTO TRANSVERSAL A LA CHIMENEA	3400	4330
200	1440	1720
300	1030	855
400	670	496
500	443	321

.....##

TABLA VII-6 (CONTINUACION)

COMPARACION ENTRE LA RADIACION MEDIDA EN PRUEBA A
ESCALA COMPLETA Y CALCULO DEL FLUX DE CALOR "K"

K, BTU/HORA PIE²

LOCALIZACION	MEDIDA	CALCULADA
CASO No. 4 (120 PIES DE FLAMA)		
100 PIES VIENTO TRANSVERSAL AL CENTRO DE LA 200 FLAMA	3910	5145
300	1440	1850
400	1030	885
	642	507
200 PIES VIENTO A FAVOR DE LA CHIMenea	3960	3180
300	2080	1310
400	1238	683
500	438	415

tura de la chimenea y la fórmula tan sencilla que se uso.

- b) Los cálculos subestiman ligeramente a K excepto cuando se está cerca de la flama.
- c) El error es mayor con el viento a favor de la chimenea, que con viento transversal.

Toda evidencia descrita en esta subsección sugiere que la fórmula del punto-fuente corregida, con el centro de la flama localizado a la mitad del camino entre la flama, es una herramienta válida. Se puede contar con ella para poder predecir el flujo de calor radiante K de quemadores grandes cuyas flamas avivadas por el viento con una exactitud útil sobre un amplio rango de condiciones prácticas.

VII-1-7 Predicción de la Forma y Longitud de la Flama.

Como ya se mencionó en la sección VI-3 y en las subsecciones anteriores que la fórmula del punto-fuente corregida, es una herramienta de diseño útil aún para flamas largas cuando se localiza el punto-fuente equivalente en el centro de la flama. Ahora se requiere un método para localizar el centro de la flama de una flama de difusión turbulenta con viento transversal.

Un método tal ha sido desarrollado sobre la base de mediciones en tuneles de viento del límite de los contornos delgados de los chorros de hidrocarburo con el viento transversal, y de las pruebas de la flama Zelten. Brevemente, parece que para flamas muy largas (por ejemplo en quemadores de 3 pies de diámetro a una velocidad de descarga de 300 pies/seg.), estos datos del tunel de viento se pueden utilizar para predecir la forma del eje de concentraciones máximas de combustible, y la punta de la flama se localiza en ese eje, en el punto en donde la flama de gas ha sido diluida hasta el límite de la flameabilidad incluida.

Este procedimiento se describirá con detalle en la sección No. VII-4 y su base científica está en proceso de estudio.

Para propósitos prácticos de esta sección, la fig. No. VII-8, muestra las formas predichas y las longitudes de la flama del hidrógeno y cierta cantidad de hidrocarburos para un quemador de 2 pies de diámetro que está descargando a 250 pies/seg. con el viento transversal a 30 millas/hora.

Se debe hacer notar que este procedimiento para predecir la forma y longitud de la flama sólo trabaja si el quemador no se ve influenciado por las estructuras descendentes que lo rodean. Esta condición no es posible que se dé para flamas altas en patios de tanques y para quemadores muy altos entre unidades de proceso. Más aún, la validez general del procedimiento para todos los gases, en particular aquellos que implican una proporción substancial de hidrógeno, aún ha de establecerse más allá de toda duda. Otras implicaciones, tal como la relación que existe entre el método utilizado para localizar el extremo de la flama y la fracción de gas que no llega a quemarse, que abandona la flama. Están actualmente bajo estudio como parte de un programa de investigación.

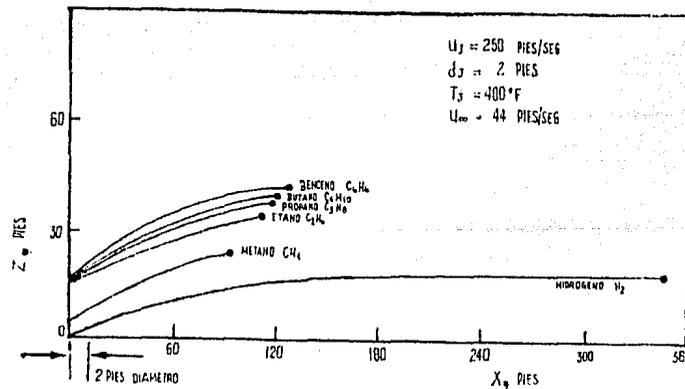
VII-1-8 Equilibrio de Calor en el Punto Caliente.

Con toda la información descrita en las subsecciones anteriores es posible obtener un buen estimado del flujo de calor radiante incidente K en cualquier punto cercano alrededor del quemador. El siguiente paso es utilizar esta información para predecir sobre el espaciado de las estructuras y equipo que están alrededor del quemador.

Cuando ocurre una llamarada de emergencia en un día airoso, el viento dobla la flama sobre ella y hace que el centro de la flama esté más cercano a las estructuras que la rodean.



PREDICCIÓN DE LA FORMA Y LONGITUD DE LAS FLAMAS DE HIDROGENO
E HIDROCARBUROS PARA UN QUEMADOR CON BOQUILLA DE 2 PIES DE
DIAMETRO. DESCARGANDO A 250 PIES/SEG. EN VIENTO-CRUZADO
A 30 MILLAS/HORA



Forma y longitud de flamas de H_2
e hidrocarburos

REF. No. 6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. | Vº. CARITINO MORENO

ESC. *H*

FECHA No. VII-8

FECHA ENE-84

Como resultado, el flujo de calor radiante K incidente sobre estructuras a favor del viento de la llamarada, generalmente será mayor de lo que es en aire calmado. Si el criterio de diseño para el espaciado seguro se expresa como un valor del umbral de K , este efecto del viento requerirá de un espaciado aumentado alrededor del quemador. Esta conclusión puede ser inexacta debido a que ignora el hecho de que el mismo viento que dobla a la flama, también esta enfriando la estructura. El efecto neto de la radiación aumentada y del enfriamiento aumentado del viento da el equilibrio calorífico. Para diseño, el equilibrio calorífico o equilibrio térmico en el punto caliente proporciona la información requerida.

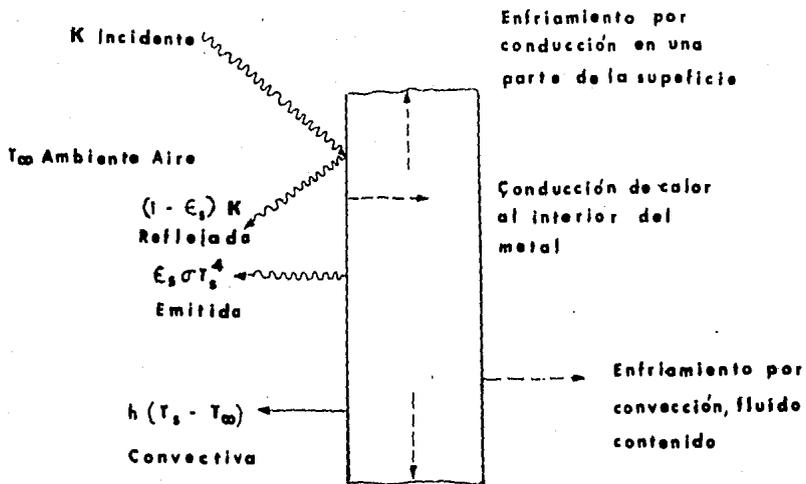
Los detalles del equilibrio térmico en el punto caliente varían de estructura en estructura. El caso más sencillo, que se aplica a los tanques, se presenta en la fig. No. VII-9. Se supone que la superficie es gris, con emisividad ϵ_s . De la K incidente, una fracción ϵ_s es absorbida y $1 - \epsilon_s$ es reflejada. La radiación emitida por la superficie a la tasa de $\sigma\epsilon_s T_s^4$. El aire ambiente absorbe calor de la superficie por convección a la tasa de $h(T_s - T_\infty)$, en donde h es el coeficiente de transferencia térmica apropiado, T_s es la temperatura de punto caliente y T_∞ es la temperatura del aire ambiente. La conducción del calor a lo largo de la superficie es ignorada, por definición del punto caliente (es decir, es un máximo local de temperatura de superficie). La conducción transitoria en el contenido del tanque se ignora debido a que los grandes cuerpos de hidrocarburos líquidos actúan como aislantes térmicos para breves exposiciones a la radiación. Finalmente, ya que la pared del tanque es delgada, su capacidad como colector térmico es pequeña y el calentamiento del metal también se ignora.

La ecuación que describe este equilibrio térmico en esta do estacionario es:



Considerada

Ignorada



EQUILIBRIO TERMICO EN EL PUNTO CALIENTE
REF. No.6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G Vo. Bo. CARITINO MORENO

ESC.

FIGURA No. VII-9

FECHA: ENE-84

$$K = (1 - \epsilon_s)K + \epsilon_s \sigma T_s^4 + h(T_s - T_\infty)$$

La cual se puede reducir a:

$$K = \sigma T_s^4 + \frac{h}{\epsilon_s} (T_s - T_\infty) \quad (\text{VII-6})$$

La ecuación 6 se ha de resolver para la temperatura de superficie de punto caliente T_s . El valor a través de ϵ_s y el flujo de aire sobre la superficie a través del coeficiente de transferencia térmica h .

Quando no hay viento, el enfriamiento convectivo de una estructura se aproxima como convección libre en una de las configuraciones sencillas para las cuales se han obtenido datos experimentales. Es afortunado que una fórmula muy sencilla para h es -- una buena aproximación para placas horizontales enfriadas desde arriba, placas verticales y tuberías horizontales.

$$h = 0.21 (T_s - T_\infty)^{1/3} \quad (\text{VII-7})$$

Sustituyendo en la ecuación 6, tenemos:

$$K = 0.1714 \left[\frac{T_s}{100} \right]^4 + \frac{0.21}{\epsilon_s} (T_s - T_\infty)^{4/3} \quad (\text{VII-8})$$

Donde:

K = Flux de calor radiante incidente, BTU/hr pie² predicho por la fórmula del punto-fuente corregida, tomando en cuenta la orientación de la superficie.

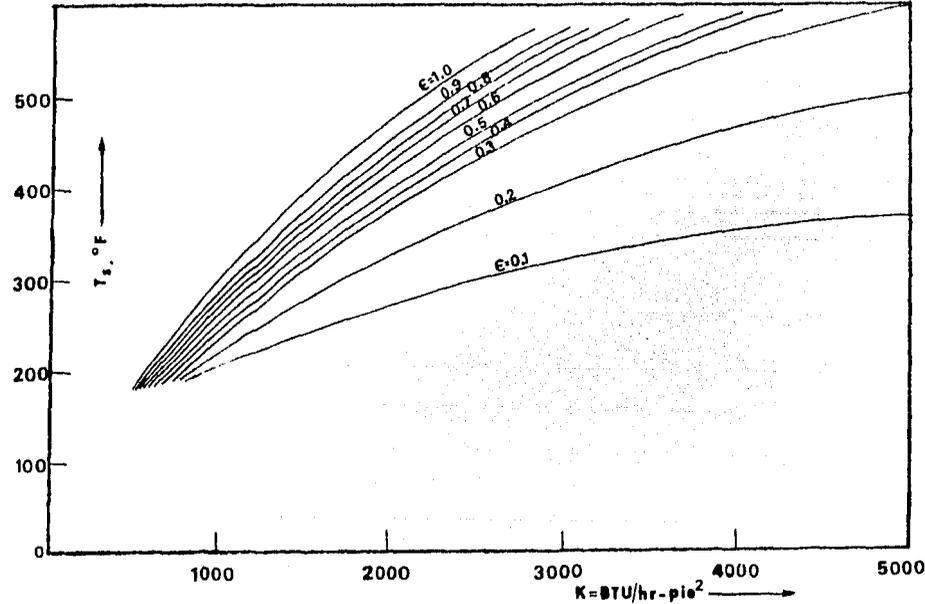
T_s = Temperatura del punto caliente en °R

T_∞ = Temperatura del aire de ambiente en °F

La ecuación 8 para una temperatura ambiente de 70°F se muestra en la fig. No. VII-10. Las diez curvas corresponden a valores de emisividad superficial de 0.1, 0.2, 0.3... 1.0. Los rangos de emisividad para diversos materiales son: Acero inoxidable después de calentamiento y enfriamiento repetido 0.5 a 0.7; Aluminio fuertemente oxidado 0.2 a 0.3+, una placa de acero bruto - 0.94 a 0.97, una placa de hierro oxidado 0.69. Las pinturas de aluminio cubren el rango que va de 0.27 a 0.67 dependiendo del contenido de aluminio y de la edad. La pintura blanca va de un rango de 0.77 a 0.95 dependiendo tanto de la pintura como del substracto.

La solución del equilibrio térmico del punto caliente, la ecuación 6, con el factor h/ϵ_s como un parámetro se presenta en la fig. No. VII-11. La temperatura ambiente del aire era de 80°F. Como se pudo haber esperado, para un valor dado de K, la temperatura del punto caliente disminuye conforme h/ϵ_s aumenta. El efecto de enfriamiento por el viento es muy pronunciado. Por ejemplo, en K de 3000 BTU/hr pie² la temperatura máxima de una superficie con emisividad $\epsilon_s = 0.5$ es de sólo 280°F cuando el coeficiente de transferencia térmica convectiva sobre la superficie es de 6 BTU/hr pie² °F, que es un valor realista para h en el enfriado por aire de la estructuras.

Es preciso observar que el equilibrio térmico que se acaba de describir se aplica en el estado estable cuando la pérdida de calor en la estructura y su contenido es negligible. Esta condición será aproximada para exposiciones muy largas a la radiación (es decir, para períodos largos de flameado). Para períodos más cortos de flameado, quizás unos cuantos minutos, la temperatura de punto caliente predicha por el equilibrio térmico será conservador. Sin embargo, para encontrar que tan conservadora es en un caso dado se requeriría de un cálculo muy largo del equilibrio térmico transitorio que dependería de los detalles de la estructura, el contenido de cualquier recipiente de almacena-



Solución del equilibrio de calor
en una corriente de aire calmado
à 70° F
REF. No.6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

D. B. JESUS SOLIS G. V. CARITINO-MORENO

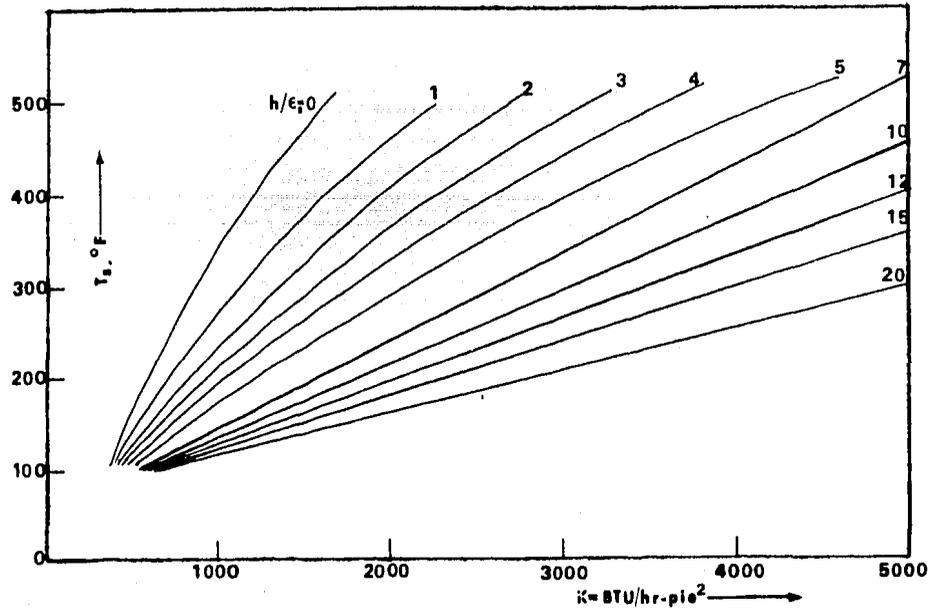
Esc.

Figura No.

Fecha

VII 10

ENE-84



Solución del equilibrio de calor
con enfriamiento convectivo

REF. No.6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

por: JESUS SOLIS G. y CARITINO MORENO

esc.

FIGURA No. VII-11

FOLIO: ENE-84

miento, el flujo a través de cualquier tubería, etc. Claramente, tal procedimiento no sería práctico en el diseño fuera del lugar. Por esta razón el límite superior de la temperatura de punto caliente dada en el presente equilibrio térmico, es una partida útil de información.

VII-2 EFECTO DE LA RADIACION TERMICA EN QUEMADORES

El efecto de la radiación térmica en quemadores elevados y/o fosas, de los datos de correlaciones observadas de quemadores ya instalados, son usadas para determinar la absorción del calor-radiado a la atmósfera, así como, también el máximo factor probable de la luminosidad de la flama.

El método es útil para determinar el efecto de una flama luminosa y una flama no luminosa, este criterio es propiamente de G. R. Kent.

En la evaluación de la radiación de la flama en quemadores, es necesario determinar la emisividad de la flama usando estimaciones en la experiencia de quemadores en campo.

Cuando los gases son continuamente premezclados son suficiente aire atmosférico, se puede esperar un resultado de flamas no luminosas.

En la emisividad de flamas no luminosas puede ser determinado por procedimientos previos. Para flamas luminosas, es necesario desarrollar un factor el cual nos permitirá estimar la emisividad causada por el hollín o partículas sólidas en dispersión.

Por un análisis de observaciones de campo de quemadores ya instalados, la magnitud de la concentración de hollín es usada

como una base para poder estimar la radiación. El calor absorbido por la atmósfera fué limitado a tener un efecto de medición en el calor recibido por un objeto remoto de la fuente de emisión de calor.

Como ya mencionamos algunos métodos para minimizar la cantidad de humo producido en una flama al momento de quemar un gas de desfogue, es necesario estimar los requerimientos de vapor, para flamas no luminosas (Capítulo III-3 Quemadores elevados sin-humo).

Por medio de otros medios, se cuentan con la alta velocidad de salida de gases en una chimenea, el aire premezclado es evaluado, el cual tiende a una menor luminosidad en la flama.

En el efecto de una chimenea alta, el efecto de alta velocidad, resulta en diámetros pequeños y alturas cortas en la chimenea.

VII-2-1 Temperatura de flama.

Anteriormente una base para la emisividad de una flama, es necesario establecer la temperatura de flama. En una serie de pruebas reportadas por un número de gases combustibles que fueron quemados en aire, el reporte de las temperaturas de flama y los gases correspondientes son listados en la siguiente tabla:

TABLA No. VII-7

GAS	TEMPERATURA DE FLAMA °R
Iluminación	3,460
Acetileno	5,120
Hidrógeno	4,170
Monóxido de carbono	4,000
Metano	3,760

La fig. No. VII-12 es una gráfica de los valores contenidos en la tabla No. VII-7 donde se ha graficado la temperatura de flama contra el peso molecular del gas y también el valor calorífico neto (LHV). Los valores caloríficos fueron obtenidos de la - Industrial Stoichiometry.

Para quemadores en atmósferas abiertas, aparece una diferencia aritmética del reporte de flamas para gases usualmente encontrados y establecer una temperatura teórica de flama de 4,100°R para poder simplificar el problema.

VII-2-2 Bases Para el Análisis de Flamas.

El poder de emisión de un cuerpo negro es definido por:

$$E_b = \sigma T^4 \quad (\text{VII-9})$$

Sustituyendo el valor de la constante de Stefan-Boltzmann usando la temperatura de flama (T_f), resumimos los resultados de Edminster y Marchello, teniendo la siguiente relación.

$$E_b = 0.1714 \left[\frac{T_f}{100} \right]^4 \quad (\text{VII-10})$$

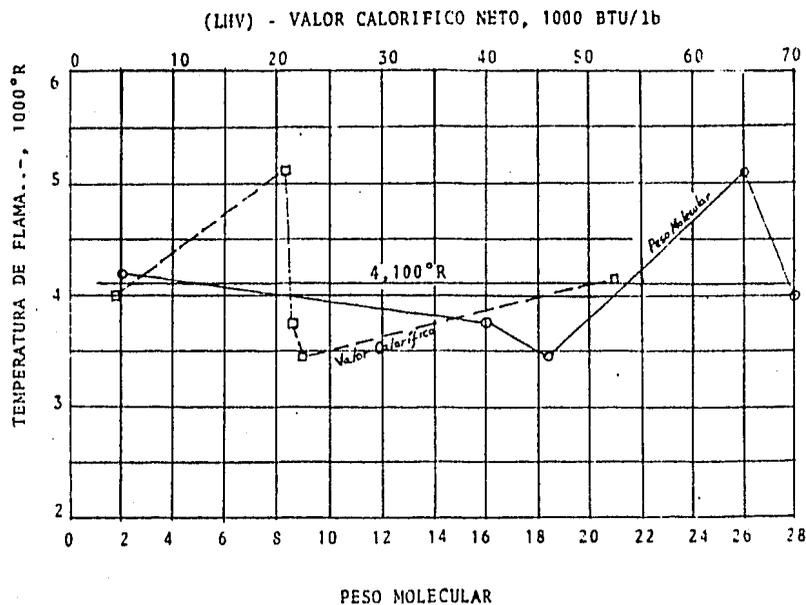
Por la ayuda del análisis de flamas, es necesario usar un valor por medio de la longitud de destello (r) de la flama.

La base sugerida para la longitud de destello es una esfera de la cual toda la radiación sale de la flama. Como el concepto del cuerpo negro supone cero pérdidas de calor, podemos igualar el calor total liberado del "cuerpo negro", poder emisor.

$$4 \pi r^2 E_b = Q \quad (\text{VII-11})$$

Despejando el poder emisor E_b , tenemos:

HP



TEMPERATURA DE FLAMA

REF. No. 7

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIA: JESUS SOLIS G. Vo. Bo. CARITINO MORENO

Esc.

FIGURA No. VII-12

FECHA: ENE-84

$$E_b = \frac{Q}{4\pi r^2} \quad (\text{VII-12})$$

Sustituyendo en la ecuación (VII-9) y resolviendo por medio de la longitud de destello (r); Tenemos:

$$r = \frac{Q^{1/2}}{1.47 \left[\frac{T_f}{100} \right]^2} \quad (\text{VII-13})$$

Usando $T_f = 4,100^\circ\text{R}$, sustituyendo en la ecuación:

$$r = \frac{Q^{1/2}}{2,470} \quad (\text{VII-14})$$

El poder de emisión (E) es una fracción del total, dependiendo en una emisividad de flama (ϵ).

$$E = \epsilon E_b \quad (\text{VII-15})$$

La emisividad depende de la composición del gas enviado a un quemador y al grado de premezcla con el aire antes de la combustión. Para hidrocarburos gaseosos enviados a un quemador, el producto de combustión para flamas no luminosas es: CO_2 , H_2O y N_2 . Entonces, la emisividad de una flama tal puede ser expresada como:

$$\epsilon_n = \epsilon_c + \epsilon_w - \Delta\epsilon \quad (\text{VII-16})$$

Donde $\Delta\epsilon$ es un factor de corrección para el espectro solapado del CO_2 y H_2O .

Haciendo referencia a Mc. Adams, citamos: "Se ha encontrado que los gases con moléculas simétricas, Hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, etc., no muestran bandas de absorción en aquellas regio-

nes de longitud de onda de importancia, dentro de la transmisión de calor de energía radiante, a las temperaturas encontradas en la práctica industrial". Por lo tanto, se considera que el producto de combustión, como gas nitrógeno, no contribuye a la emisividad de flama del gas.

Para una flama luminosa, la fracción no quemada de gas (partículas de carbón) en forma de hollín, materialmente se incrementa la emisividad de la flama. Si representamos la fracción de peso del gas formado como hollín (f_s) y su emisividad (ϵ_s), podemos expresar una emisividad neta de flama (ϵ) como sigue:

$$\epsilon = \epsilon_n (1 - f_s) + \epsilon_s f_s \quad (\text{VII-17})$$

La radiación por unidad de área (q) a una distancia (x) de una flama puede ser determinada de:

$$4\pi x^2 q = 4\pi r^2 E \quad (\text{VII-18})$$

Obteniendo:

$$q = E \left[\frac{r}{x} \right]^2 \quad (\text{VII-19})$$

Pero del poder emisivo tenemos:

$$E = \frac{\epsilon Q}{4\pi r^2} \quad (\text{VII-20})$$

Entonces la radiación por unidad de área (q) es:

$$q = \frac{Q}{4\pi x^2} \quad (\text{VII-21})$$

La atmósfera interviene en una flama luminosa y un objeto absorbiendo este calor, absorbe algo de calor liberado por la flama.

Si expresamos la fracción de calor absorbido por la atmósfera como (f_a), entonces la fracción de calor disponible por el objeto afectado puede ser determinado por lo siguiente:

$$q_a = q - f_a q = q (1 - f_a) \quad (\text{VII-22})$$

Entonces:

$$q_a = \frac{(1 - f_a) \epsilon Q}{4\pi x^2} \quad (\text{VII-23})$$

Si expresamos la emisividad total del calor liberado (Q) - por (ϵ_t), tenemos:

$$\epsilon_t = (1 - f_a) \left[\epsilon_n (1 - f_s) + \epsilon_s f_s \right] \quad (\text{VII-24})$$

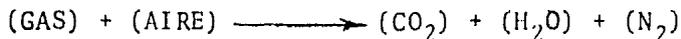
De aquí la ecuación VII-23 puede ser expresada como:

$$q_a = \frac{\epsilon_t Q}{4\pi x^2} \quad (\text{VII-25})$$

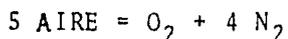
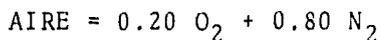
Por lo tanto esta ecuación da el calor absorbido en términos de todas las variables expresadas.

VII-2-3 Emisividad de flamas no luminosas.

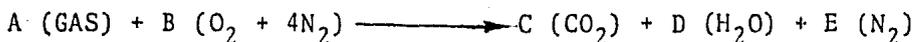
La reacción de combustión por un hidrocarburo gaseoso en el aire puede ser generalizado por lo siguiente:



Como el aire representa el 20 % de O_2 y el 80 % de N_2 , -
tenemos:



Entonces:



Por conveniencia el coeficiente $A = 1$, los coeficientes-
restantes para un número comunmente encontrado para gases, se -
muestran en la tabla No. VII-8.

TABLA No. VII-8

GAS	B ($O_2 + 4N_2$)	C (CO_2)	D (H_2O)	E (N_2)
Hidrógeno	1/2	0	1	2
Metano	2	1	2	8
Acetileno	5/2	2	1	10
Etileno	3	2	2	12
Etano	7/2	2	3	14
Propeno	9/2	3	3	18
Propano	5	3	4	20
Buteno	6	4	4	24
Hexano	19/2	6	7	38

Para una mezcla de gas (combustible) multicomponente en-
viada a un quemador, el coeficiente resultante para los productos
de combustión son determinados por la multiplicación de sus repec

tivas fracciones mol de cada componente en la tabla No. VII-8

La suma de los productos resultantes representa el total de las moles por cada producto de combustión y estas pueden ser expresadas como:

$$N_c = \sum_n C, N_w = \sum_n D \text{ \& } N_n = \sum_n E \quad (\text{VII-26})$$

Mc Adams ha recopilado los datos en una gráfica para determinar la emisividad del anhídrido carbónico y el vapor de agua.

Desde que confinamos nuestra temperatura de flama de $4,100^\circ\text{R}$, el dato ha sido reunido por conveniencia en forma de gráfica representado por las figuras Nos. VII-13 y VII-14.

Las presiones parciales de los productos de combustión y de la flama a la longitud de destello, son requeridas para poder utilizar los datos contenidos en las gráficas.

Para gases quemados en una atmósfera abierta, el volumen de gas (V) y la temperatura (T) puede suponerse igual para cada componente de gas usando la constante molar del gas (R) en la ecuación general del estado gaseoso:

$$PV = NRT \quad (\text{VII-27})$$

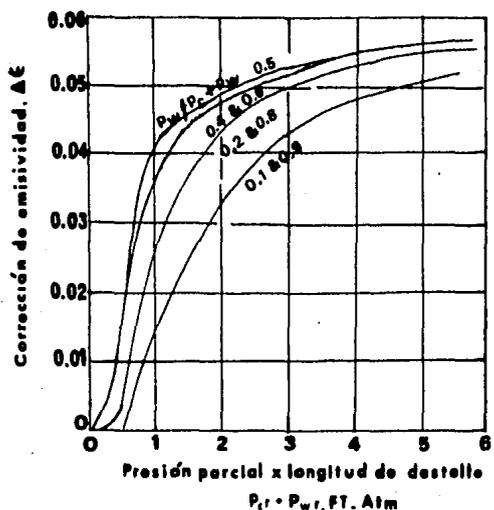
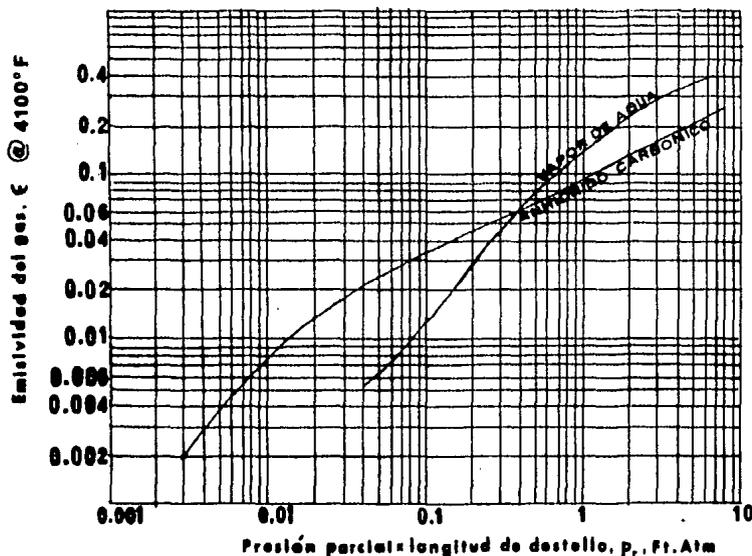
Obteniendo así la presión parcial.

$$p = N \frac{RT}{V} \quad (\text{VII-28})$$

Para la presión parcial, la expresamos en atmósferas:

$$p_t = p_c + p_w + p_n = 1 \quad (\text{VII-29})$$

HP



EMISIVIDAD Y CORRECCION DE LA MISMA PARA VAPOR DE AGUA Y DIOXIDO DE CARBONO

REF. No. 7

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vo. Bo. CARITINO MORENO

ESC. *[Signature]* FIGURA No. VII-13/VII-14 FECHA: ENE-84

Y para la fracciones mol tenemos:

$$N_t = N_c + N_w + N_n = \sum_n C + \sum_n D + \sum_n E \quad (\text{VII-30})$$

Entonces:

$$p_c = \frac{N_c}{N_t} \quad (\text{VII-31})$$

y

$$p_w = \frac{N_w}{N_t} \quad (\text{VII-32})$$

Por lo tanto, la presión parcial, en atmósferas, puede -- ser determinada por cada componente de combustión.

Por las figuras Nos. VII-13 y 14, con los productos ($p_{c,r}$) y ($p_{w,r}$), obtenemos la emisividad (ϵ_n) para flamas no luminosas.

Para un gas el cual no contiene sólidos en suspensión o - gotas de líquido, el valor máximo de la concentración de hollín - (f_{sm}) ocurre cuando este no se premezcla con aire y combustible - enviado a un quemador. Deberá ser una premezcla estequiométrica de gas-aire existente antes de la combustión. Podemos deducir que la fracción de hollín es prácticamente cero ($f_s = 0$), hasta llegar a más datos disponibles, suponemos que la relación existente es li- neal entre la fracción de hollín (f_s) y el aire-combustible la ra- zón en peso es (W_a/W_f).

$$f_s = f_{sm} \left[1 - \frac{(W_a/W_f)}{(W_a/W_f)_s} \right] \quad (\text{VII-33})$$

Para obtener valores para la atmósfera de fracción de ca- lor absorbido (f_a), la fracción de la concentración de hollín ---

(f_{ms}) deberá recurrir a un análisis de observaciones presentadas en campo.

VII-3 EFECTO DE LA RADIACION TERMICA SOBRE EL PERSONAL

Hasta aquí hemos acentuado el efecto de la desviación de la radiación de quemadores sobre las estructuras. Sin embargo, en la mayoría de los diseños, el espaciado seguro alrededor de un quemador elevado viene determinado por el criterio que se basa en la intensidad máxima de radiación térmica a la que puede ser expuesto el personal.

Los criterios para la exposición del personal a la radiación se basan en experimentos clínicos. Sin embargo, la dificultad en el uso de pruebas clínicas a pequeña escala para que proporcionen guías para la seguridad del personal en una planta surge de las diferencias en el comportamiento de las personas bajo los dos conjuntos de condiciones. El trabajador de la planta está totalmente vestido y sólo su cara y, cuando mucho, los antebrazos están expuestos directamente a la radiación. El trabajador se está moviendo alrededor, de manera que la radiación no siempre es incidente sobre la piel. Es enfriada por el viento, ya sea viento del ambiente o al flujo de aire sobre su cuerpo conforme corre al área de peligro. Más aún, se puede proteger así mismo dándole vuelta a su cuello.

Los métodos establecidos para predecir los límites de exposición al calor para los trabajadores inmersos en un medio caliente no se pueden adoptar aquí, debido a que no es sabido como el enfriamiento por parte del sudor sobre el cuerpo entero se combina con el calor radiante y el enfriamiento del viento de pequeñas áreas expuestas. Aún cuando un equilibrio térmico bruto puede indicar que no hay riesgo sistemático, la radiación puede ser lo suficientemente intensa como para ocasionar quemaduras en la piel.

En general, los datos que se encuentran en la literatura sobre higiene industrial, sobre experimentos patológicos con animales, y sobre quemaduras causadas por la radiación térmica de las explosiones nucleares no se pueden aplicar al efecto de la radiación de una flama de un quemador sobre el personal. Por esta razón, cualquier dato de campo producido en un medio ambiente de planta es de interés.

Algunos datos fueron producidos por T. A. Brzustowski, en el proceso de hacer mediciones que se presentan en la fig. No. VII-1. El experimento implicó el mover los radiómetros más cercanos a la flama, dirigiéndolos al centro de la misma, midiendo sus distancias desde la flama, etc. Esta tarea llevó aproximadamente un minuto. La mayoría de los datos se tomaron en día con temperatura a 80°F a la luz del sol. Una persona llevaba la cabeza descubierta y llevaba una camisa de manga corta. En todos los casos, las tareas pueden realizarse sin un desasosiego excesivo. En un valor de $K = 1200 \text{ BTU/hr ft}^2$ se siente una sensación de comezón sobre el labio superior y al final de un minuto la radiación cae sobre la cara, y sobre la frente, volviéndose poco comfortable. Sin embargo, alejándose de la flama durante unos pocos segundos, o escudando la cara con la mano desnuda proporciona un alivio adecuado. El único riesgo observado en la K arriba mencionada, cerca de 500 fue que el radiómetro en metal se vuelve demasiado caliente para poder manejarlo con las manos desnudas.

Sobre la base de esta experiencia, de algunos datos de exposición recopilados durante la prueba de llamarada de Zeltten, y los datos clínicos, se seleccionaron los valores de K como niveles de exposición aceptables que reflejan las consideraciones prácticas discutidas: $K = 2000 \text{ BTU/hr pie}^2$ para no más de 20 segundos, 1500 para no más de 2 minutos, 1000 en 10 minutos, y 500 en dos horas.

Esto deberá ser evidente para una exposición de personal por fuera, la K deberá evaluarse a un punto máximo, sobre todo -- por el valor dado por la fórmula punto-fuente, la cual es la misma como la fórmula punto-fuente corregida con $\text{Cos } \theta = 1$.

VII-4 CALOR DE RADIACION Y TIEMPO DE ESCAPE

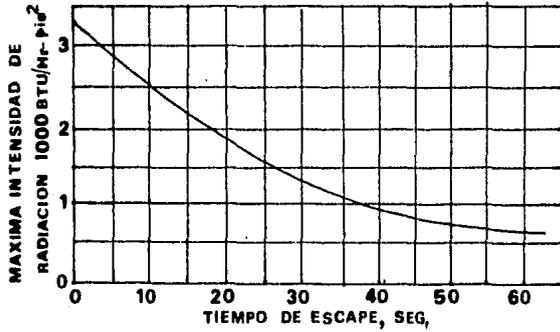
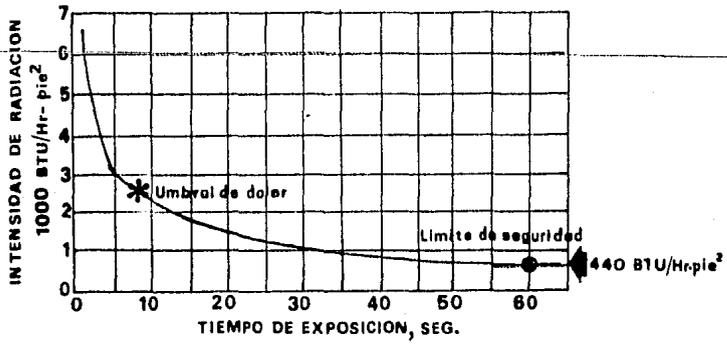
Una recopilación del calor radiado limitante el cual puede ser tolerado por las personas es presentado en la fig. No. VII-15. Un nivel seguro de intensidad de radiación tolerado por el -- cuerpo humano para un tiempo de exposición ilimitado es de 440 -- BTU/hr pie². Sin embargo, de esto resulta la necesidad de un intervalo de tiempo para poder permitir escapar a una persona de la radiación en caso de que la fuente emisora incremente calor.

Suponiendo que una persona pueda estar en la base del -- quemador cuando ocurra un desfogue repentino, existe un intervalo corto de tiempo (tiempo de reacción de 5 segundos) en que la intensidad de calor radiante está siendo absorbida, luego sigue una rápida emisión (20 pies/segundo de velocidad de escape) durante la cual continuamente el calor radiante avanza y disminuye hasta valores seguros de exposición. Es por lo tanto necesario determinar el calor absorbido en el tiempo total de exposición y mantenerlo dentro de las limitaciones dadas en la fig. No. VII-15.

La velocidad de escape de 20 pies/seg. fue comparada al valor de la carrera de pista de competencia de los 400 metros, el cual tiene un promedio de 28.6 pies/seg.

La máxima intensidad de calor radiado que puede tolerarse en la base del quemador correspondiente con el límite total de calor absorbido puede ser determinado por:

HP



INTENSIDAD DE RADIACION CONTRA
TIEMPO DE EXPOSICION Y ESCAPE

REF. No.1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. | Vg. Bo. CARITINO MORENO

ESC.  | FIGURA No. VII-15/VII-16 | FECHA: ENE-84

$$t_a K_a = t_r K_m + t_e \frac{K_m - K_n}{\ln \frac{K_m}{K_n}} \quad (\text{VII-34})$$

Donde: $t_a = t_r t_e$ (VII-35)

$t_a K_a$ = Tiempo promedio correspondiente a la intensidad-promedio.

t_r = Tiempo de reacción de intensidad máxima.

t_e = Tiempo de escape.

K_m = Intensidad de radiación máxima.

K_n = Intensidad de radiación mínima.

Donde la " K_a " corresponde al tiempo total " t_a " (fig. No. VII-15). La fig. No. VII-16 es la solución de la ecuación 34. - El tiempo de escape " t_e " es función de la altura del quemador " H " y es por lo tanto, la solución de la ecuación.

VII-4-1 Altura del quemador.

La intensidad de radiación proveniente de la flama de un quemador, viene dada por la ecuación (VII-2):

$$K = \frac{(F) (Q)}{4 \pi X^2} = \text{BTU/hora-pie}^2$$

La cantidad de calor que es disipado por radiación (fracción F) se debe de obtener basandose en los siguientes valores:

<u>GAS</u>	<u>F</u>
Hidrocarburos	0.40
Propano	0.33
Metano	0.20

El valor calorífico neto (LHV) del gas es expresado como: BTU/pie^3 , en condiciones estandard de 14.7 PSIA y 60°F .

La fracción F del gas se determina por la siguiente relación:

$$F = 0.20 \sqrt{\frac{h_c}{900}} \quad (\text{VII-36})$$

En donde: $h_c = 50 M + 100$ Para hidrocarburos.

y: $h_c = \sum_n h_c$ Para mezclas de gases.

Con el valor de " h_c " determinado por la mezcla de gas que esta siendo enviado a un quemador, el calor liberado viene dado por la ecuación:

$$Q = W \sum_n h_c \frac{379}{M} \quad (\text{VII-37})$$

Suponiendo que el calor liberado es uniformemente distribuido por su longitud, se tiene de la ecuación 2:

$$X^2 = \frac{(F) (Q)}{4 \pi K}$$

En donde:

K = Intensidad de radiación en BTU/hr pie^2

F = Fracción de calor radiante

Q = Calor total liberado en BTU/hr

X = Distancia radial desde el centro de flama en pies.

h_c = Valor calorífico neto en BTU/pie^3 estandard.

M = Peso Molecular del gas

Los valores de K determinarán la altura a la que debe estar el quemador para que la intensidad de radiación no exceda de:

- | | |
|---|------------------------------|
| a) Para equipo: | 3000 BTU/hr pie ² |
| b) Para personal con corta
exposición: | 1500 BTU/hr pie ² |
| c) Para personal con expo-
sición constante: | 440 BTU/hr pie ² |

Para determinar la localización y altura se pueden considerar los efectos de la intensidad de radiación sobre el cuerpo humano:

<u>INTENSIDAD</u>	<u>UMBRAL DEL DOLOR</u>	<u>AMPOLLAMIENTO</u>
2000 BTU/hr pie ²	8 segundos	20 segundos
5300 BTU/hr pie ²	---	5 segundos

VII-4-2 Altura y Localización de las Coordenadas del Centro de Flama en Quemadores Elevados.

Recordando la suposición de que el calor liberado por la flama es uniformemente distribuido a través de su longitud y suponiendo que la descarga es hecha en "aire calmado" se puede escribir:

$$K_m = \frac{F}{4\pi} \int_H^{H+L} \frac{\left[\frac{Q}{L} \right] d_x}{x_m^2} = \frac{F \left[\frac{Q}{L} \right]}{4\pi} \int_H^{H+L} \frac{d_x}{x_m^2} \quad (\text{VII-38})$$

De donde:

$$K_m = \frac{(F) (Q)}{4\pi H(H + L)} \quad (\text{VII-39})$$

y:

$$X_m = (H(H + L))^{1/2} \quad (\text{VII-40})$$

Por lo tanto, para la altura tenemos:

$$H = \frac{\left[L^2 + \frac{(F) (Q)}{4\pi K_m} \right]^{1/2}}{2} - L \quad (\text{VII-41})$$

La distancia radial límite de la flama:

$$X = \left[\frac{(F) (Q)}{4\pi 440} \right]^{1/2} \quad (\text{VII-42})$$

Resolviendo el triángulo para "y", teniendo un tiempo de escape de 20 pies/segundo, tenemos:

$$y = 20 t_e = (X^2 - H(H + L))^{1/2} \quad (\text{VII-43})$$

La solución de esta ecuación se basa en que el círculo-limitante (límite seguro) es hecho para descargas en "aire quieto". Para condiciones sujetas a viento, el círculo limitante tomará forma de elipse en la cual dependerá de la dirección del viento que prevalezca o bien de su intensidad. Fig. No. VII-17.

La desviación de la flama bajo el efecto del viento puede ser determinada por: Fig. No. VII-18.

DIAGRAMA DE UN QUEMADOR ELEVADO
Y FLAMA EN AIRE CALMADO

HP

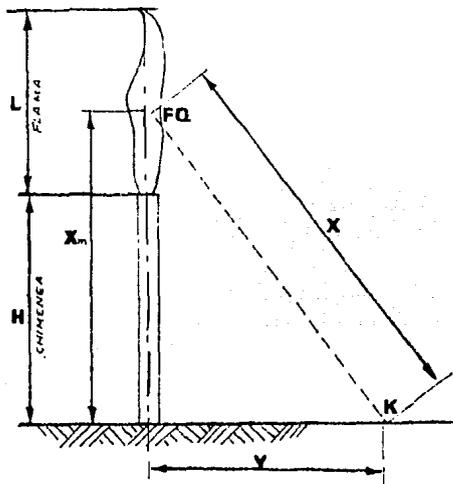
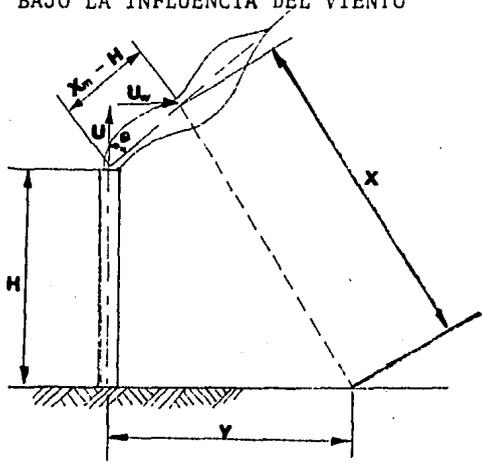


DIAGRAMA DE UN QUEMADOR ELEVADO Y FLAMA
BAJO LA INFLUENCIA DEL VIENTO



Esquema para calcular la altura en quemadores elevados

REF. No. 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

DIB:	JESUS SOLIS G.	Va. Bo.	CARITINO MORENO
ESC.	<i>[Signature]</i>	FIGURA No.	VII-17/VII-18
		FECHA:	ENE-84

$$\text{Tan } \theta = \frac{u_w}{u} = \frac{(\text{Vel. Viento})}{(\text{Vel. salida})} \quad (\text{VII-44})$$

$$u_w = (X_m - X) \text{ sen } \theta$$

$$u = (X_m - H) \text{ cos } \theta$$

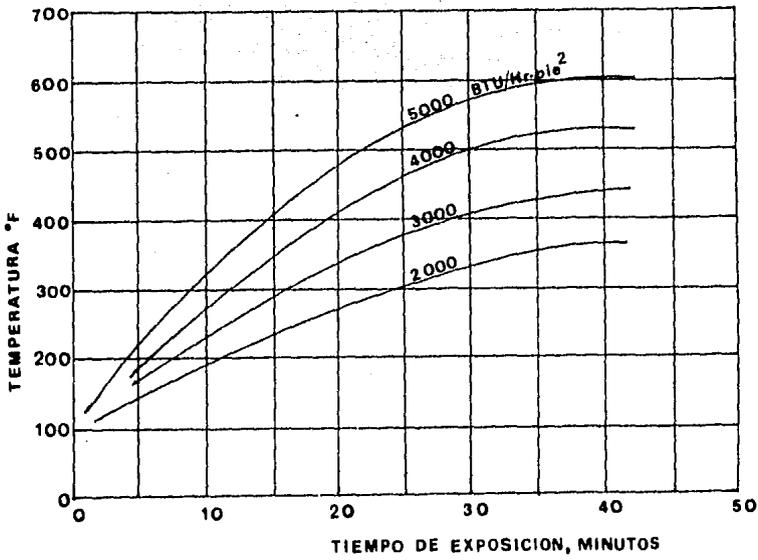
$$y = \left\{ X^2 - (H + (X_m - H) \text{ cos } \theta)^2 \right\}^{1/2} + (X_m - H) \text{ sen } \theta \quad (\text{VII-45})$$

En el año de 1962 en Argelia un estimado de 1'400,000 - libras/hora de gas natural escapaba de la superficie y era quemado con una intensa radiación térmica, produciendo una colosal flama de 600 pies de altura y 200 pies de ancho, esta gran flama puede ser comparada en tamaño a la flama producida en un quemador durante la falla en una refinería o planta petroquímica, los efectos de radiación térmica en personal y equipo de operación deberán ser considerados cuando se diseña un quemador. También la selección de la altura deberá ser hecha en base a la seguridad del personal de operación, así como también en el equipo.

Con una intensidad de 2000 BTU/Hr pie² (esta intensidad es 6 veces la intensidad de la radiación solar), el umbral de dolor es de 8 segundos. Por lo tanto, este tiempo deberá ser permisible para que un hombre pueda escapar de la fuente emisora, no debiendo exceder de 1500 BTU/Hr pie². Un quemador elevado lo suficientemente alto puede ser seleccionado para satisfacer esta condición. Pero si es muy impráctico, para las medidas de protección que deberán ser tomadas para garantizar su seguridad.

El efecto de la radiación térmica en equipo es presentado en la fig. No. VII-19. La temperatura se incrementa con el tiempo de exposición, y la alta intensidad de radiación térmica contra la temperatura se muestra en la fig. No. VII-20, la curva 1,-

HP



Temperatura de equipo de acero
contra tiempo de exposición
de intensidad de radiación
REF. No. 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

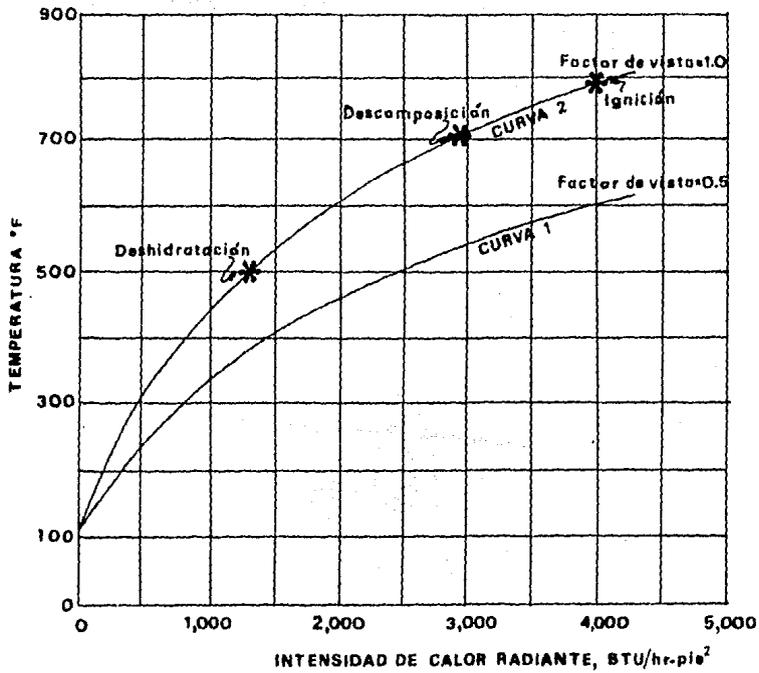
Dib: JESUS SOLIS G. %-84 CARITINO MORENO

Esc: *H*

FIGURA No.
VII-19

FECHA:
ENE-84

HP



Temperatura de equilibrio contra la intensidad de radiación

REF. No.1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

DI: JESUS SOLIS G. M. G. CARITINO MORENO

ASCI: *H* FIGURA No. VII-20 FECHA: ENE-84

muestra el equilibrio teórico de temperatura basado en un factor de vista de 0.5. La temperatura actual de superficies de flama - estarán entre la curvas 1 y 2. La temperatura de recipientes con teniendo líquido o cualquier vapor deslizando sobre las paredes, puede bajar los efectos de la temperatura.

La curva 2 se aplica a objetos teniendo un coeficiente de conductividad térmica bajo, por ejemplo, madera. En este caso el equilibrio de temperaturas son obtenidas dentro de un corto tiempo, comparado con objetos de metal. La deshidratación de madera tiene lugar a 500°F, y la descomposición a 700°F y la probable ignición a 800°F, correspondiendo a 1300, 3000 y 4000 BTU/hr pie², respectivamente.

La fig. No. VII-21 muestra el círculo limitante de diámetro y, es establecido por los requerimientos de protección en cada caso particular.

Como ya mencionamos, para encontrar la intensidad de radiación a cualquier punto P, Y en pies de la base del quemador, - considerar la fig. No. VII-22, donde la intensidad viene dada -- por la ecuación 2.

$$K = \frac{\epsilon Q}{4\pi X^2}$$

La emisividad, la cual depende de la luminosidad de la flama como ya mencionamos, para metano 0.20 (M = 16), propano -- 0.33 (M = 44), y para hidrocarburos más pesados 0.40, entonces - esto puede ser representado por:

$$\epsilon = 0.048 \sqrt{M} \quad (\text{VII-46})$$

El calor generado por la flama puede ser expresado por:

$$Q = 20,000 W \quad (\text{VII-47})$$

CIRCULO LIMITANTE PARA INTENSIDAD DE RADIACION DE 1500 Y 3000 BTU/Hr PIE² PARA UN QUEMADOR DE 48 PULGADAS DE DIAMETRO; 200 PIES DE ALTURA; - PARA UNA CARGA DE 970,000 LIBRAS/HORA. P.M. 44.

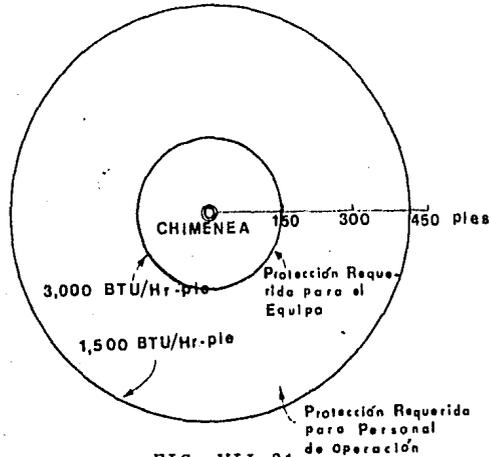
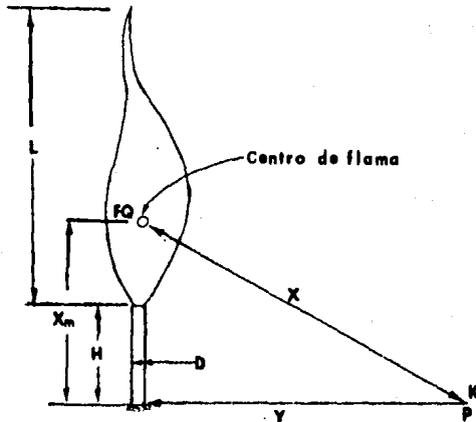


FIG. VII-21

INTENSIDAD DE RADIACION K A UN PUNTO P DADO.



CIRCULO LIMITANTE PARA LA INTENSIDAD DE RADIACION

REF. No.1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

D/B: JESUS SOLIS G. Vo. Bo. CARITINO MORENO

EBC. *[Signature]* FIGURA No. VII-21/VII-22 FECHA: ENE-84

Donde W es la proporción de flujo, libras/hora, basado en un valor calorífico de 20,000 BTU/libras

El cuadrado de la distancia X puede ser encontrado por lo siguiente:

$$X_m = \sqrt{H(H+L)} \quad (\text{VII-48})$$

$$y: \quad L = 120 D \quad (\text{VII-49})$$

Donde X es la altura del centro de la flama en pies; D es el diámetro de la boquilla del quemador en pies, y L es la longitud de flama en pies.

$$X^2 = Y^2 + X_m^2$$

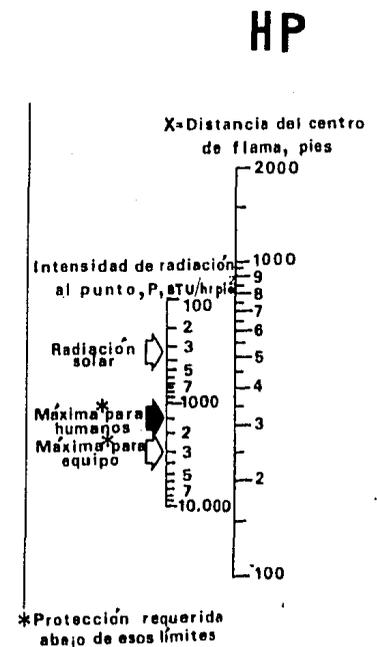
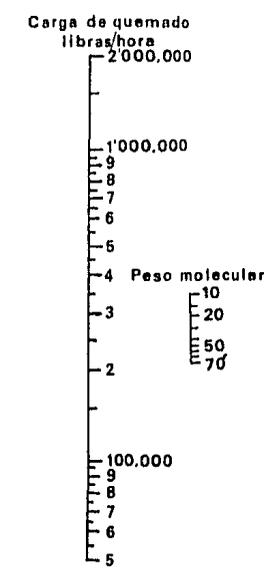
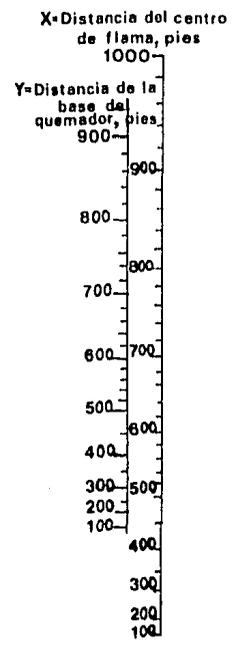
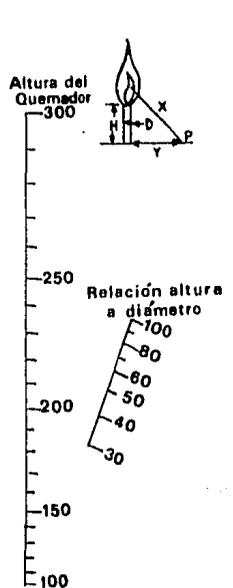
$$X^2 = Y^2 + H(H + 120 D)$$

Entonces la ecuación VII- 2 queda:

$$K = \frac{960 W \sqrt{M}}{4\pi (Y^2 + H(H+120)D)} \quad (\text{VII-50})$$

Esta ecuación puede ser usada para obtener la intensidad a cualquier punto, " Y " en pies de la base de un quemador. Si la intensidad de radiación a la base del quemador no excede de 1500 BTU/hr pie², sustituir $Y = 0$ y $K = 1500$ en la ecuación, y resolver para H , para encontrar la altura de la chimenea.

Los nomogramas en las fig. Nos. VII-23 y VII-24 son basados en la ecuación 50. Para encontrar la intensidad K , si Y es conocida, encontrar primero X de la fig. VII-23.



NOMOGRAMAS PARA LA INTENSIDAD DE RADIACION REF. No.1	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA	
	TESIS PROFESIONAL	
Dis: JESUS SOLIS G.	Vs. de: CARITINO MORENO	
Esc: <i>[Signature]</i>	FIGURA No. VII-23/VII-24	FECHA: ENE-84

Entonces usar de la gráfica 1500 y 3000 BTU/hr pie² de la intensidad de calor, representado por la gráfica fíg No. VII-21 -- del círculo limitante.

VII-5 EFECTO DE LA RADIACION SOLAR EN QUEMADORES

Hoy en día la radiación solar ha sido uno de los temas de estudio muy interesante, sin embargo, en esta sección únicamente nos concretaremos en analizar el efecto que tiene sobre los quemadores de gases de deshecho.

Para determinar el flux de calor máximo permisible para un punto arbitrario de interés, se deben de tener en cuenta dos factores que son muy importantes para el diseño de quemadores elevados y/o quemadores de fosa, estos factores son: Una componente para la flama y una componente para la radiación solar.

La rapidez con que la energía solar incide normalmente sobre una superficie de área unitaria, colocada normalmente al sol en las capas más alejadas de la atmósfera de la tierra, se le llama constante solar y es equivalente a 442 BTU/Hora pie². Sin embargo, la rapidez con la que la radiación solar alcanza a la tierra, es substancialmente menor al valor dado, debido a que parte de la radiación es absorbida y dispersada al pasar a través de la capa de espesor de aire, vapor de agua, dióxido de carbono y polvo que envuelve a la tierra. La cantidad de radiación solar recibida por una superficie sobre la tierra, depende de la posición geográfica, hora del día, época del año, estado del tiempo o inclinación de la de la superficie.

La reducción de la radiación solar por la atmósfera de la tierra, depende de la longitud de la trayectoria que a su vez depende de la posición del sol.

La energía radiante incidente sobre una superficie en la-

tierra, colocada normalmente a los rayos del sol G_n , se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$G_n = G_o \tau_a^m \quad (\text{VII-51})$$

En donde:

G_o = Constante solar 442 BTU/Hora pie^2

m = Masa de aire relativa, definida como la razón de la longitud de la trayectoria real a la trayectoria más corta posible.

τ_a = Coeficiente de transmisión por unidad de masa de aire.

El valor de τ_a es ligeramente menor en el verano que en el invierno, debido a que la atmósfera contiene más vapor de agua. También varía con la condición del cielo desde 0.81 para un día claro a 0.62 para un día nublado. Un valor de 0.7 se considera aceptable para nuestros propósitos; El valor de m depende de la posición del sol por la distancia cenital.

La componente solar puede estar en un rango cercano en un clima polar nublado, a un valor máximo de G_n de 350 BTU/Hora pie^2 , para un clima tropical con sol brillante. El diseñador deberá considerar el valor apropiado para la radiación solar usada para el cálculo de estos equipos.

Para un resplandor continuo de la flama de un quemador elevado, con la ayuda de la tabla No. VII-9, "Flux permisible para la exposición del personal", usar un flux permisible de 600 BTU/Hora pie^2 , asumir una radiación solar de 350 BTU/Hora pie^2 . Este valor es la irradiación recibida en el punto de superficie de la tierra.

Por lo tanto:

$$600 \text{ BTU/Hora pie}^2 - 350 \text{ BTU/Hora pie}^2 = 250 \text{ BTU/Hora pie}^2.$$

La radiación térmica total incluye una componente para la flama y una componente de la luz del sol. El flux de calor -- permisible de la flama K, es entonces igual al flux permisible de la tabla, menos la componente de la irradiación solar.

TABLA VII-9

INTENSIDAD DE RADIACION PERMISIBLE PARA LA EXPOSICION DE PERSONAL

FLUX DE CALOR (INCLUYENDO RADIACION SOLAR) (BTU/Hr pie ²)	TIEMPO DE EXPOSICION
600	Infinito
750	1 - 2 Horas
900	1/2 - 1 Hr.
1100	5 - 10 min.
1400	2 - 5 min.
2000	15 seg. (Escape)

El diseñador deberá considerar su localización del quemador y el modelo normal de tiempo, para así poder determinar el valor apropiado de la radiación solar a ser usado en el cálculo.

VII-6

CRITERIOS TECNICOS DE DISEÑO

Ahora es importante comparar los efectos para aplicar - los criterios de diseño basados sobre un valor máximo de la intensidad de radiación K; Los criterios basados sobre una temperatura máxima del punto caliente; Los criterios de la radiación solar y el análisis del modelo punto-fuente.

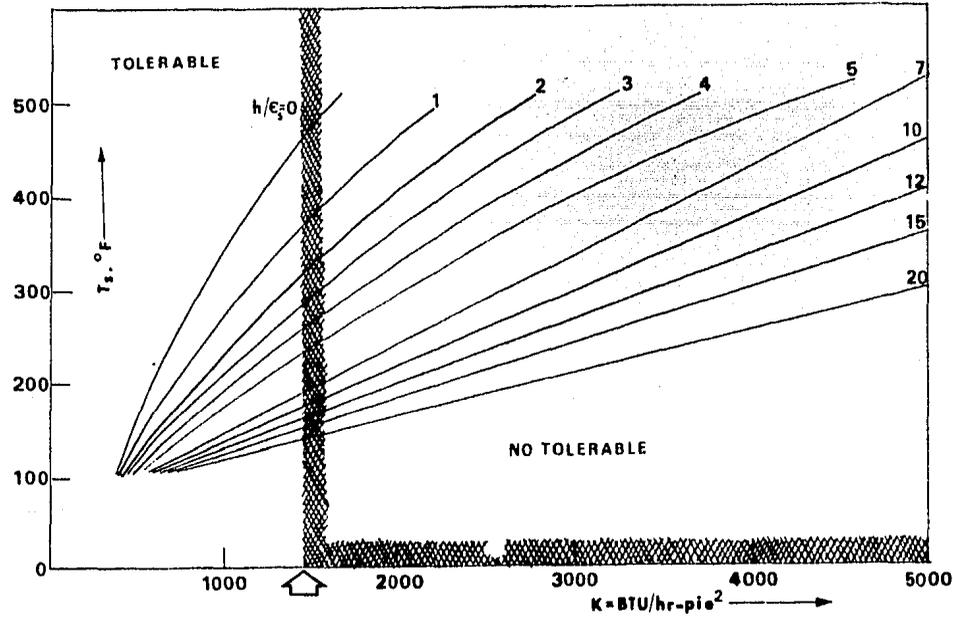
Considérese un criterio de diseño hipotético que limite a K a 1500 BTU/Hora pie². La fig. No. VII-25 muestra este criterio en relación a los resultados del equilibrio térmico, muestra que puede surgir una temperatura de punto caliente sobre los 400 °F en aquellas plantas que tienen una K menor que 1500. También muestra que en un amplio rango de condiciones con K más abajo de 300 °F. El criterio hipotético será en particular severo para el equipo en donde la flama de un quemador está a favor del viento, en donde un valor alto de K es compensado por un enfriamiento -- substancial por parte del viento.

Un análisis de la fig. No. VII-25 sugiere que un límite sobre la temperatura de punto caliente sería un mejor criterio de diseño y un límite sobre K. La fig. No. VII-26 muestra tal -- criterio. Este límite se establece por estándares de seguridad -- para el almacenamiento de material para el tanque. También puede ser fijado por resistencias térmicas y fluencia o deslizamiento en la estructuras, o por consideraciones del equilibrio térmico en el equipo tal como transformadores. En cualquier caso, los -- criterios serán diferentes para diferentes tipos de equipo y estructuras. Esta característica proporcionará una medida adicional de flexibilidad de diseño fuera del lugar.

Si los criterios de diseño en términos de temperatura de punto caliente se han de usar, es necesario hacer un intento de obtener los mejores datos posibles sobre el enfriamiento de -- la estructuras por parte del viento.

VII-6-1 Enfriamiento de las Estructuras por el Viento.

La información acerca de la transferencia térmica convectiva en las superficies externas de las estructuras es muy limitada. La razón por esta escasez de información es la complejidad del campo de flujo turbulento tridimensional alrededor de -- las estructuras más simples. Para comenzar, cualquier estructura



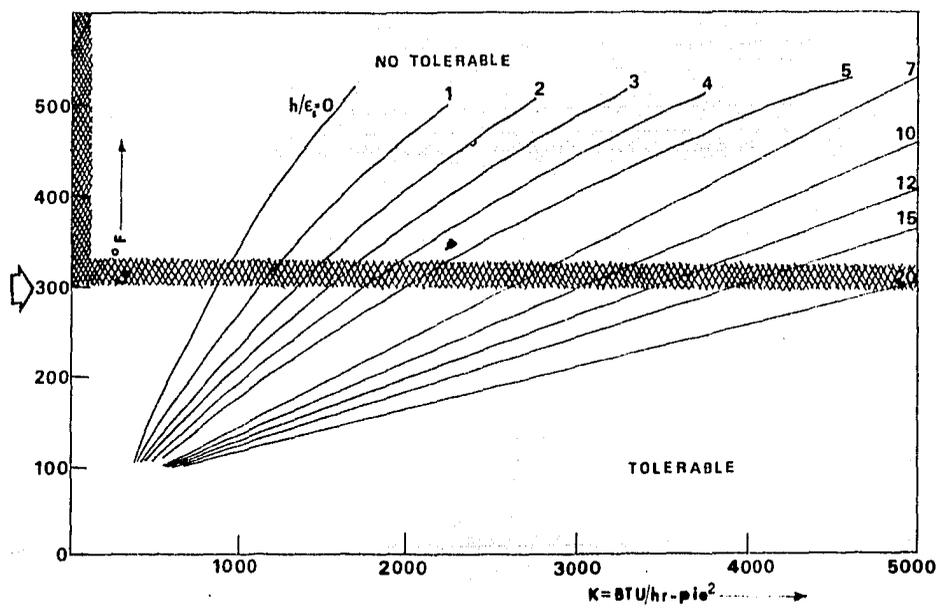
Condiciones permisibles bajo un criterio de diseño hipotético de intensidad de radiación, $K=1500$ BTU/hr pie²

REF. No.6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vo. 8o CARITINO MORENO

E.O.C.  FIGURA No. VII-25 FECHA: ENE-84



Condiciones permisibles bajo un criterio de diseño para el límite sobre la temperatura de punto caliente a 300° F

REF. No.6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE QUIMICA		
TESIS PROFESIONAL		
Dir:	JESUS SOLIS G.	No. de CARITINO MORENO
Sec.	VII-26	FECHA: ENE-84

está inmersa en alguna extensión en la capa frontera sobre el piso; También puede ser en el levantamiento o deslizamiento de otra estructura. En el sotavento de una estructura hay regiones de flujo separado en las que el flujo de aire sobre una superficie no tiene una relación sencilla con el viento. En el lado del barlovento hay puntos de estancamiento o líneas así como, regiones de recirculación cercanas al piso. Para complicar el asunto aún más, los vientos son tempestuosos y pueden tener remolinos turbulentos comparables en tamaño a las dimensiones significativas de la estructura. En vista de esa complejidad de flujo de aire sobre las estructuras, no resulta sorprendente que no hay métodos generales para evaluar el enfriamiento de las estructuras por el viento.

Sin embargo, los estándares de contaminación actuales -- del aire parecen conducir a la práctica de llevar a cabo estudios modelo del tunel de viento en conexión con los proyectos de quemadores elevados. El propósito de estos estudios es presumiblemente observar los patrones de flujo de aire alrededor del quemador y las estructuras que lo rodean, de manera que la dispersión sobre el lugar puede comprenderse. Los mismos experimentos con un esfuerzo muy pequeño adicional se utilizarán para estudiar los patrones de flujo sobre aquellas estructuras que están más cercanas al quemador y quizás aun medir la distribución de velocidad sobre ellas. Se puede suponer que el flujo sobre las torres, tanques, etc., es localmente como el de una placa plana y se pueden utilizar correlaciones estándares para la transferencia térmica en flujo turbulento para estimar el coeficiente de transferencia térmica h .

La expresión recomendada para el coeficiente promedio de la transferencia térmica convectiva h en flujo turbulento sobre una placa plana de longitud L es:

$$Nu_L = 0.037 Pr^{1/3} Re_L^{0.8} \quad (VII-52)$$

En donde:

$$Nu_L = \frac{hL}{k}, \text{ Número de Nusselt basado en } L, \text{ Adimensional.}$$

L = Longitud de la placa plana en la cual h es el coeficiente de transferencia de calor.

k = Conductividad termal del aire, BTU/Hora pie °F

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}, \text{ Número de Prandtl, Adimensional}$$

$$Re_L = \frac{UL}{\nu}, \text{ Número de Reynolds basado en } L, \text{ Adimensional}$$

ν = Viscosidad cinemática del aire, pies²/seg.

α = Difusividad térmica del aire, pies²/seg.

U = Velocidad local del aire sobre la superficie, pies/seg.

Para aire seco @ 80°F, $k = 0.015$, $\nu = 0.17 \times 10^{-3}$, y el número de Prandtl, $Pr = 0.72$, por lo que h equivale a:

$$h = 0.52 U^{0.8} L^{-0.2} \quad (\text{VII-53})$$

A una buena aproximación.

Si no es posible un modelo de túnel de viento del quemador y de las estructuras que lo rodean, los datos generados para calcular las cargas eólicas estructurales demostrarán ser útiles.

Los datos de cargas de viento ordinario se presentan bajo la forma de un coeficiente de presión C_p , definido como:

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{\rho_\infty U_\infty^2}{2g_c}} \quad (\text{VII-54})$$

Donde:

p = Presión estática en algún punto sobre la superficie, libras_f/pies².

p_{∞} = Presión estática ambiente, libras_f/pies².

ρ_{∞} = Densidad del aire ambiente, libras_m/pie³.

U_{∞} = Velocidad del viento, pies/seg.

g_c = 32.17405 libras_m - pie/seg² - libras_f.

Las recopilaciones de C_p para varias estructuras fueron encontradas por medio de códigos de construcción.

Algunas veces los datos de C_p son suficientes como para permitir que se determine la velocidad local U . Por ejemplo sobre las paredes verticales en el lado de barlovento de una estructura sencilla, la ecuación de Bernoulli se aplica en la forma

$$p + \frac{\rho_{\infty} U^2}{2 g_c} = p_{\infty} + \frac{\rho_{\infty} U_{\infty}^2}{2 g_c}$$

De la cual:

$$C_p = 1 - \frac{U^2}{U_{\infty}^2}$$

$$U = U_{\infty} \sqrt{1 - C_p}$$

Si se supone luego que el flujo es localmente igual que el que se da sobre una placa plana, se utiliza una correlación es tándard, tal como la ecuación 53, para calcular h .

Es en el área de encontrar cuales son las C_p y L que se deben usar y cuales son las correlaciones de transferencia térmica que se deben aplicar, que este procedimiento es el menos rigu-

roso. Todo esfuerzo que se haga para supervisar la investigación en este campo será para mejorar los cálculos conforme se tienen disponibles nuevos resultados. Si en el inter, no se tiene disponible otra información, el valor aproximado $h = 4 \text{ BTU/Hr pie}^{2\circ\text{F}}$ se puede usar.

Se recomienda el valor de 4 para h en vientos hasta de 10 millas por hora. Los valores de 5 y 6 se midieron con un viento de 15 millas por hora en dirección contra el viento y con las caras con viento transversal, respectivamente. Los datos también mostraron que h aumentaba casi en forma lineal con el viento en la cara que quedaba transversal al viento y más lentamente en la cara que quedaba contra el viento. Sobre esta base, una h de 4 -- BTU/Hora $\text{pie}^{2\circ\text{F}}$ es un buen estimado cuando no se tiene disponible una mejor información.

VII-7

FACTORES DE DISEÑO

Una vez que ya ha quedado comprendida la predicción del calor radiante y los criterios propuestos por T. A. Brzustowski; los efectos de radiación térmica en quemadores por G. R. Kent ambas con la ayuda de los datos técnicos muy valiosos del API RP -- 521, procederemos a analizar los factores que tienen influencia en la seguridad y diseño de quemadores elevados y/o fosas, entre estos se encuentran:

- a) Dimensionamiento y Caída de Presión.
- b) Radiación térmica.
- c) Acarreo de líquidos.
- d) Combustión completa y estabilidad de flama.
- e) Sistema adecuado de ignición.
- f) Sistema de protección para retroceso de flama.
- g) Diseño adecuado de la fosa.
- h) Localización del equipo.

VII-7-1

Diseño Propio de un Quemador.

El diseño propio de un quemador es esencial, si el quemador opera con una alta eficiencia de combustión proporcionará la seguridad y el efecto deseado.

Los factores que deberán tomarse en cuenta en el diseño propio de quemadores elevados y/o fosas en particular son:

1.- Selección del Sistema Adecuado.

La selección de un sistema está sujeto a muchos factores los cuales son específicos estos son:

a) Propiedades Físicas y Químicas.

El punto de flasheo, el límite de explosividad, temperatura de ignición en ciertos líquidos inflamables, gases y sólidos. Especial consideración debe darse a los cambios de fase, vaporización de líquidos o condensación del vapor que ocurra en un fluido cuando la presión es reducida y resulte algún enfriamiento.

b) Propiedades Fisiológicas.

Toxicidad.- Es el grado en el cual una sustancia es venenosa. El límite de toxicidad denota la mayor concentración a la cual una sustancia es tolerada en el aire para un área dada.

Olor.- Deben tomarse en cuenta las propiedades de los componentes olorosos o nocivos.

Humo.- En la sección III-3 se discuten los métodos para regular el humo; y en la sección VIII-4 se dis-

cutirán los métodos de emisión de material contaminante.

Ruido.- Los niveles de ruido aceptables y los daños potenciales se detallaron en la sección VI-7.

- c) Descargas atmosféricas, este factor requiere de un analisis y estudio con más detenimiento, este será tratado en el capitulo No. VIII, sección VIII-2.
- d) Efectos de la radiación, ver sección VII-1.
- e) Propiedades de combustión, como velocidad de quemado y estabilidad de flama.

2.- Análisis de Cargas del Sistema.

El primer requerimiento en el diseño de un sistema, es un análisis detallado de todas las situaciones posibles que puedan presentarse a fin de determinar la condición de máximo-desfogue en emergencia. La máxima situación de emergencia es la suma de las descargas individuales por una falla en particular. La máxima carga de desfogue no es el número mayor en libras por hora que pueda presentarse, sino aquella condición máxima que ocasione el mayor cabezal de desfogue. Además en el análisis de cargas debe ponerse especial atención a aquellas fallas que se hacen aditivas por dependencia del mismo sistema.

3.- Arreglo del Sistema.

Una vez definidas las cargas que puedan verse involucradas en un sistema de desfogue, debe optimizarse el arreglo de equipo. Los factores que afectan un arreglo son:

- a) Análisis de Cargas.

- b) Espacio Disponible.
- c) Modulaci3n del Equipo.
- d) Simplicidad de Componentes.
- e) Costo del Sistema.
- f) Facilidad de operaci3n.
- g) Mantenimiento.

4.- Dise1o de Equipo.

En el dise1o del equipo en cuesti3n, involucra lo siguiente:

- a) Dimensionamiento de la tuber1a.
- b) Tanques Separadores de l1quidos.
- c) Tanques de Sello.
- d) Escalonamiento de Sellado.
- e) Dimensionamiento del Quemador.

En el dise1o de quemadores elevados se deber1 tener en cuenta los siguientes factores:

- a) Longitud de la Flama.
- b) Radiaci3n.
- c) Toxicidad.
- e) Nivel de Ruido.
- f) Protecci3n del Sistema.

Y para quemadores de fosa, lo siguiente:

- a) Radiaci3n.
- b) Velocidad del gas.
- c) Longitud de Flama.
- d) Dimensiones de la Fosa.
- e) Protecci3n del sistema.

5.- Instalaciones Tipo.

- a) Diagramas tipo de quemadores elevados, con cables - contraviento, autosoportados, con estructura.
- b) Diagramas tipo de quemadores de fosa, tipo parrilla, de piso, quemadores de emergencia.
- c) Diagramas tipo de un Venteo Atmosférico.

6.- Localización.

- a) Diagramas de un estudio de la radiación para la localización del equipo.

Un quemador debe ser capaz de mantener una flama estable durante la presentación de la mayor emergencia posible. Los vapores deben estar completamente libres de líquidos, la formación de humo deberá minimizarse tanto como sea posible y el quemador deberá localizarse de tal manera que ofrezca seguridad máxima al personal y al equipo. Finalmente un quemador debe ser -- instalado con elementos de seguridad para prevenir el retroceso de la flama.

VII-8 DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DE QUEMADORES ELEVADOS.

Los factores que deberán tomarse en cuenta en el diseño propio de un quemador elevado son:

- a) Dimensionamiento y Presión en Ductos.
- b) Cálculo de la altura por:
 - Radiación.
 - Toxicidad.
 - Nivel de Ruido.
- c) Acarreo de líquidos.

d) Efecto del viento

e) Localización.

a) Dimensionamiento y Presión en ductos.

Un quemador debe tener un diámetro adecuado para mantener estable la flama y prevenir su retroceso.

Como ya se mencionó, en experimentos hechos ha demostrado que la extinción de la flama ocurre cuando la velocidad del gas de salida excede el 30 % de la velocidad sónica; Para mantener una flama adecuada es necesario dar al gas una velocidad del 20 % de la sónica.

La ecuación básica en el dimensionamiento de un quemador elevado es:

$$W = \rho V A 3600 \quad (\text{VII-55})$$

Donde;

W = Cantidad de gas efluente en libras/hora.

ρ = Densidad del gas en libras/pie³

V = Velocidad de salida en pies/seg.

A = Area transversal en pies²

La velocidad de salida es una quinta parte de la velocidad sónica.

$$V = \frac{1}{5} \sqrt{\frac{g k R T}{M}} \quad (\text{VII-56})$$

Y la sección transversal en la boquilla es:

$$A_c = \frac{0.785}{144} d^2$$

Donde:

M = Peso molecular del gas efluente.

P = Presión Absoluta del vapor, 14.7 PSIA.

g = Aceleración debida a la gravedad, 32.17 libras_m-pie/
libras_f-seg²).

R = Constante del gas, 1546 libras_f-pie/°R-mol.

k = Relación de calores específicos C_p/C_v.

d = Diámetro de la boquilla, pulgadas.

Combinando las ecuaciones, se tiene que:

$$d^2 = \frac{W}{1370} \sqrt{\frac{T}{M}}$$

Para dimensionar los cabezales de quemado o líneas de --
conducción de desfogue se tiene preparado un nomograma que simpli-
fica el dimensionamiento de quemadores elevados y/o fosas y tam-
bién es muy útil para el dimensionamiento de los conductos de tu-
bería en general.

El dimensionamiento de un quemador elevado se basa prin-
cipalmente en cálculos sobre la caída de presión para flujo de --
flúidos compresibles. El método más sencillo y muy útil es el in-
troducido por Lapple. Este método evita cálculos largos utilizan-
do diagramas de diseño; sin embargo, aún requiere de cierta canti-
dad de cálculos aritméticos.

El diagrama se basa especialmente en el método de Lapple

y está proyectado especialmente para el dimensionamiento de sistemas de quemadores, como es el cabezal, tubería que conduce el flujo corriente arriba y corriente abajo, así como, las válvulas de seguridad y las válvulas de alivio

Del método se obtienen resultados lo suficientemente exactos, pero para aquellos casos que no están cubiertos por el diagrama y para una mayor exactitud, se hacen cálculos con una forma simplificada de la ecuación de Lapple.

VII-8-1 Ecuaciones Básicas.

El dimensionamiento del sistema de quemadores de gas de desfogue, invariablemente implica el cálculo de la capacidad o tamaño de un conducto por tubería, y de las presiones hacia la parte superior y hacia la parte inferior. La ecuación para hacer tales cálculos se deriva a continuación:

De la expresión para la descarga máxima a través de la boquilla, bajo condiciones de flujo isotérmico.

$$G_{cni} = P_o \sqrt{\frac{g M}{2.718 R T_o}}$$

$$= 12.6 P_o \sqrt{\frac{M}{T_o}} \quad (\text{VII-57})$$

Se deriva la tasa de flujo masa:

$$W = 247 d^2 P_o \sqrt{\frac{M}{T_o}} (G/G_{cni})_N \quad (\text{VII-58})$$

En donde d es el diámetro de la tubería, P_o es la presión de flujo corriente arriba (en límite de baterfa) M es el pe

so molecular, T_0 la temperatura, y G/G_{cni} , se define como la razón de las tasas de descarga máxima.

El valor de G/G_{cni} depende tanto del coeficiente de fricción, N , como de la razón de presiones de flujo corriente arriba o corriente abajo, P_2/P_0 . Por lo tanto, para calcular la capacidad de un conducto por tubería es conveniente expresar la ecuación VII-58 como:

$$W = 247 d^2 P_2 \sqrt{\frac{M}{T_0} \left[\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right]^N} \quad (\text{VII-59})$$

Sin embargo, para calcular la presión de flujo corriente arriba P_0 , es mucho mejor hacer:

$$\left[\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right]^N = \frac{247 P_2 d^2}{W} \sqrt{\frac{M}{T_0}} \quad (\text{VII-60})$$

Mientras que para calcular la presión de flujo corriente abajo P_2 ,

$$\left[G/G_{cni} \right]^N = \frac{W}{247 P_0 d^2} \sqrt{\frac{M}{T_0}} \quad (\text{VII-61})$$

Y para calcular el diámetro de un conducto de tubería,

$$d^2 = \frac{W}{247 P_2} \sqrt{\frac{T_0}{M} \left[\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right]^N} \quad (\text{VII-62})$$

Al aplicar la ecuación 60, la temperatura de flujo corriente abajo puede ser sustituida por la temperatura del flujo corriente arriba .

Para propósitos prácticos la razón de T_2/T_0 , es la unidad.

Los valores de la razón:

$$\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}}$$

Se presentan en la fig. No. VII-27, la cual se refiere específicamente a un gas o vapor con una relación de calores específicos con $k = C_p/C_v = 1.4$. (Sin embargo, el diagrama puede utilizarse también para valores que no son 1.4 sin que haya error significativo y particularmente para $N = 3$ o más grandes. Esta razón está relacionada con la velocidad del gas en el orificio de salida, por igualación de la ecuación 59:

$$W = 19.6 \rho v d^2 = 1.83 \frac{M P_2}{T_2} v d^2$$

Esto hace que:

$$v = 135 \frac{T_2}{T_0} \sqrt{\frac{T_0}{M} \left[\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right]^N}^{-1} \quad (\text{VII-63})$$

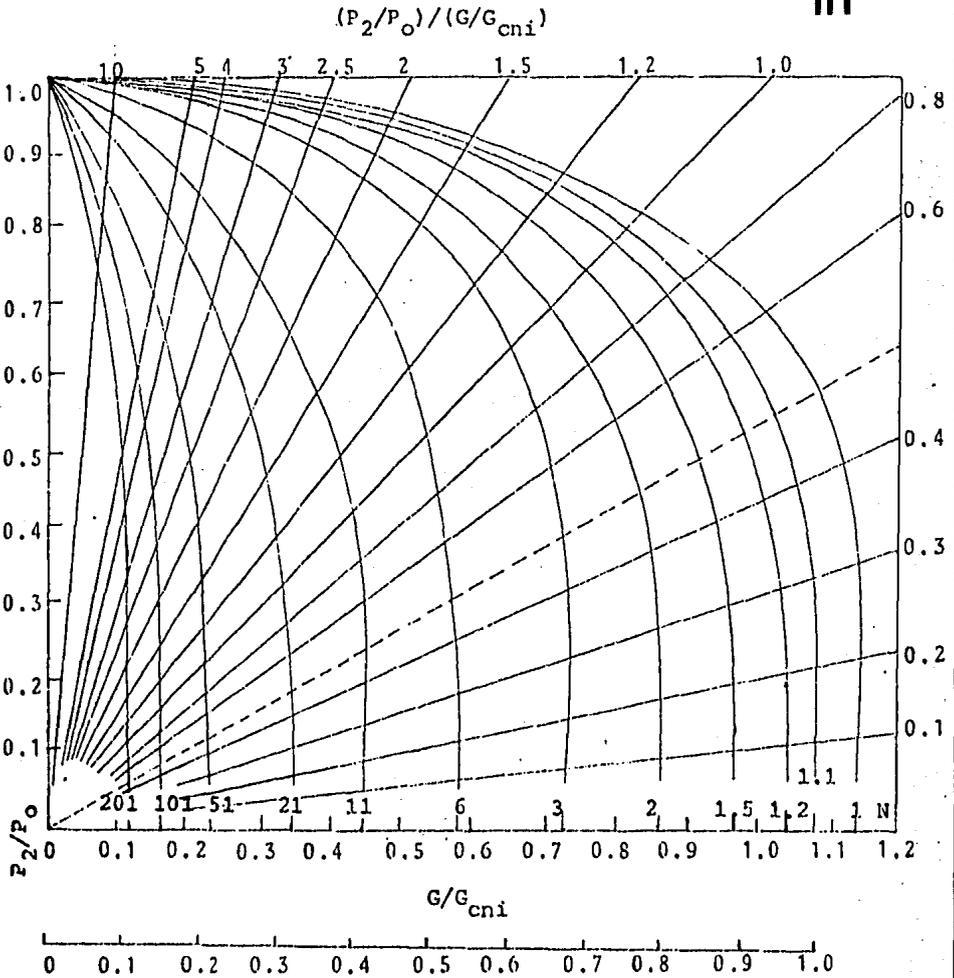
Para la relación $(P_2/P_0)/(G/G_{cni}) \cong 0.5$ el flujo en la salida es sónico,

$$v_s = 223 \sqrt{\frac{k T_2}{M}} \quad (\text{VII-64})$$

De manera que:

$$\frac{v}{v_s} = 0.605 \sqrt{\frac{T_2/T_0}{k} \left[\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right]^N}^{-1} \quad (\text{VII-65})$$

HP



FACTOR DE CORRECCION, VALVULAS DE SEGURIDAD PARA $P_2/P_0 > 0.5$
DIVIDA EL AREA DE LA FIG. No. VII-28 POR ESTE FACTOR, UTILICE
LA CURVA N = 1.1

DIAGRAMA DE LAPPLE--- $C_p/C_v = 1.4$

REF. No.1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

D/B: JESUS SOLIS G. No. 80 CARITINO MORENO

Esc. *H* FINUCA No. VII-27 FECHA: ENE-84

Puesto que puede resultar un alto nivel de ruido indeseable del flujo sónico, es importante dimensionar los conductos o líneas de tubería usando un valor mayor que 0.5 para la relación $(P_2/P_0)/(G/G_{cni})$. Siendo P_2 la presión del recipiente con flujo corriente abajo. (Si P_2 es la presión en la tubería de salida, $(P_2/P_0)/(G/G_{cni}) \cong 1$ para flujo sónico. Es preciso notar que P_2 es la presión en la tubería en la salida o en cualquier punto L pies con flujo corriente abajo del orificio de salida, o la presión en el recipiente en la cual descarga la tubería. No obstante, en el último caso la pérdida de salida $K = 1$, se incluye en el valor de N . (En la fig. No. VII-27 y 28, los valores para N incluyen pérdida en la salida). En las ecuaciones anteriores, el factor de compresibilidad $z = 1$ se supone para el vapor o gas. Si este factor difiere apreciablemente de la unidad, se hace una reserva, utilizando una temperatura, $T' = zT$, en donde z es el valor promedio del factor.

VII-8-2

Diagrama de Diseño.

El diagrama de diseño o nomograma, de la fig. No. VII-28 se basa en las ecuaciones precedentes y en las que a continuación expresaremos. De la ecuación de Fanning, que se expresa como:

$$\Delta P = 0.000108 N \rho v^2 \quad (\text{VII-66})$$

Se deriva, considerando negligibles los efectos de la temperatura,

$$d^2 = \frac{W}{247 P_2} \sqrt{\frac{T_0}{M}} \left[\frac{1}{1.65} \right] \sqrt{\frac{N}{(P_0/P_2)^2 - 1}} \quad (\text{VII-67})$$

Y así, de las ecuaciones 62 y 67, se obtiene:

$$\left[\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right]_N = \frac{1}{1.65} \sqrt{\frac{N}{(P_0/P_2)^2 - 1}} \quad (\text{VII-68})$$

La gráfica logarítmica de $(P_2/P_0)/(G/G_{cni})$ del diagrama Lapple, contra la relación de $(P_2/P_0)^2 - 1$ o $2\Delta P/P_0 + (\Delta P/P_0)^2$, produce por lo tanto líneas rectas que tienen a N como parámetro (aunque las pendientes se desvíen ligeramente de 0.5). Similarmente se deriva:

$$d^2 = \frac{W}{247 P_0} \sqrt{\frac{T_0}{M} \left[\frac{1}{1.65} \right]} \sqrt{\frac{N}{1 - (P_2/P_0)^2}} \quad (\text{VII-69})$$

Y de las ecuaciones 58 y 69, se obtiene:

$$\left(\frac{G}{G_{cni}}\right)^{-1} \frac{1}{N} = \left[\frac{1}{1.65} \right] \sqrt{\frac{N}{1 - (P_2/P_0)^2}} \quad (\text{VII-70})$$

Por lo tanto, la gráfica logarítmica de la razón G/G_{cni} del diagrama de Lapple, contra la relación de $1 - (P_2/P_0)^2$ o $2\Delta P/P_0 - (\Delta P/P_0)^2$, también da líneas rectas, sin embargo, sólo hasta aproximadamente $\Delta P/P_0 = 0.3$. Con una caída de presión más elevada las líneas se desvían de la línea recta, en particular las líneas para $N = 10$ o menores.

Las líneas para $\Delta P/P_0$ por 100 pies se obtuvieron de la ecuación 69 haciendo uso de la ecuación de Fanning:

$$\frac{4 f L}{D} = 0.27 \frac{L}{d^{1.23}}$$

Las líneas de velocidad se basan en las ecuaciones 63 y 65, suponiendo $T_2/T_0 = 1$. (Multiplicar v por T_2/T_0 y v/v_s por $\sqrt{T_2/T_0}$ para obtener resultados correctos).

La velocidad sónica se basa en $v_s = 223 \sqrt{k T_0/M}$.

El diagrama para válvulas de seguridad y válvulas de alivio se -

calcula por medio de las siguientes ecuaciones,

$$A = \frac{W}{K C P_0} \sqrt{\frac{z T_0}{M}} \quad (\text{VII-71})$$

En donde A es el área de orificio en pulgadas cuadradas, K es el coeficiente de la boquilla (0.97), z es el factor de compresibilidad, y

$$C = 520 \sqrt{k \left[\frac{2}{k+1} \right]^{(k+1)/(k-1)}}$$

La ecuación VII-71 es válida para una presión máxima en retroceso de $0.5 P_0$; Para una presión más alta se hace una corrección por medio de la fig. No. VII-27.

Para líquidos,

$$A = \frac{\text{GPM}}{27.2 C} \sqrt{\frac{\text{S.G.}}{\Delta P}} \quad (\text{VII-72})$$

En donde GPM son los galones por minuto de flujo de líquido; S.G. - la gravedad específica del líquido; ΔP la presión diferencial y C es un factor: 1 para un 25 % de sobrepresión, 0.6 para un 10 % de sobrepresión.

Si el fluido que descarga es una mezcla de vapor y líquido, el área de orificio requerida es de aproximadamente la suma de las áreas requeridas para alivios individuales de vapor y del líquido.

VII-8-3 Dimensionamiento de un Sistema de Quemadores.

El diseño de un sistema de quemadores incluye el dimensionamiento de las válvulas de seguridad y las válvulas de alivio para el orificio

de entrada y de la tubería de descarga, y del cabezal del quemador. Todos éstos deben dimensionarse adecuadamente para impedir la sobrepresión del equipo en caso de una falla operativa, tal como se describió en el capítulo No. 2. Estas fallas pueden ser: Falla de energía, falla en el sistema de reflujos, bloqueo de orificios de entrada y salida, incendio, falla de instrumentos, etc.

Las válvulas de seguridad y de alivio se dimensionan con rapidez por medio del diagrama de diseño de la fig. No. VII-28. La presión P_0 para válvulas de seguridad es:

$$P_0 = (1 + \alpha)P + 14.7 \text{ PSIA}$$

Siendo P la presión de ajuste de la válvula en PSI. En general, el factor de sobrepresión α es 0.2 para condición de incendio y 0.1 para todos los otros casos.

Para válvulas equilibradas se debe aplicar un factor de corrección derivado de la fig. No. VII-27 (o de los datos del propio fabricante), si la sobrepresión P_2 , es más alta que $0.5 P_0$ PSIA. Para válvulas no equilibradas la sobrepresión permisible máxima es una décima parte de la presión de ajuste de la válvula en PSIG.

VII-8-4 Cabezal del Quemador de Gases

El cabezal del quemador de gases de deshecho, que recolecta los vapores de las válvulas de seguridad para su descarga segura al tanque separador y al quemador elevado, se dimensiona por la carga de vapor más grande -- ocasionada por una sola falla. Esta carga de vapor se obtiene de una tabulación de las cargas de alivio y de las válvulas de seguridad conectadas al sistema de quemadores. Las cargas que pueden ocurrir simultáneamente como resultado de incendio, falla del agua de enfriamiento, etc. se suman y de estas sumas se determina la mayor carga.

En el cabezal es importante la presión de flujo corriente arriba-

permisible. Mientras más alta sea esta presión, más pequeño será el tamaño del cabezal. Sin embargo, la presión de flujo corriente arriba está limitada por la presión inferior de ajuste de la válvula de seguridad del sistema. Además, aún si se tiene disponible la suficiente presión, no es recomendable dimensionar el cabezal de manera que el flujo se haga sónico. Para impedir esto, el valor para la relación $(P_2/P_0)/(G/G_{cni})$ en la fig. No. VII-27 debe ser mayor que 0.5 y de preferencia no menor de 1.0, siendo P_2 la presión en el flujo hacia abajo del límite de batería o recipiente. Los valores promedio de los cabezales del quemador de fosa y quemadores elevados son:

Para cabezales de desfogue:

$$1 \leq \left[\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right] \leq 2$$

N

Para quemadores elevados:

$$2 \leq \left[\frac{P_2/P_0}{G/G_{cni}} \right] \leq 3$$

N

Estos valores son recomendables para tener una flama estable.

VII-8-5

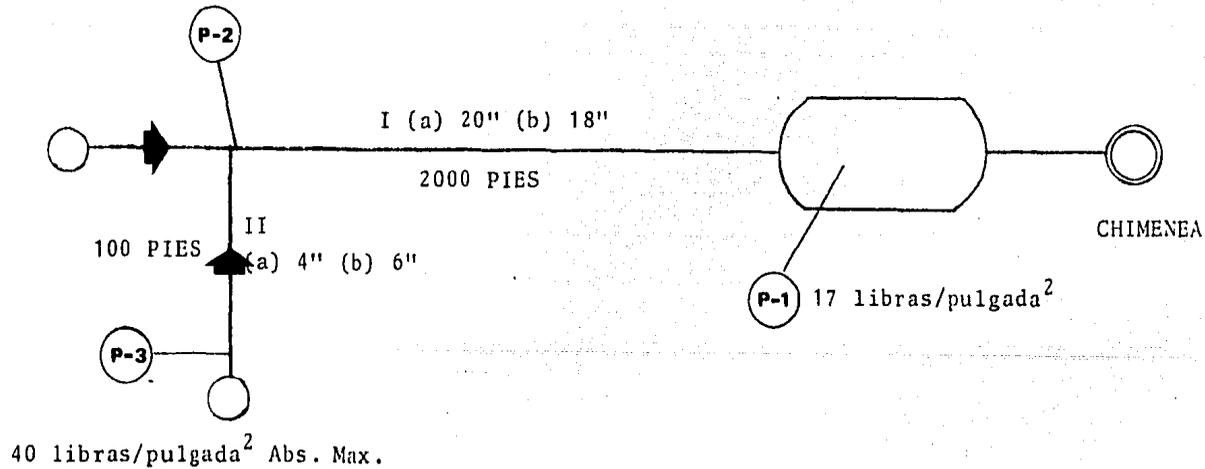
Ejemplo.

Para ejemplificar el dimensionamiento de un cabezal de un sistema de quemadores, en la fig. No. VII-29. El cabezal No. I se va a dimensionar para 220,000 libras/hora de vapor, lo que incluye 12,000 libras/hora del cabezal No. II, el vapor o gas tiene un peso molecular de $M = 50$ y una temperatura de $T = 300^\circ\text{F}$. La presión en el tanque separador en "P-1" es de 17 -- libras/pulgadas cuadrada absolutas.

DIMENSIONAMIENTO DE LOS CABEZALES. SON POSIBLES DOS COMBINACIONES

(a) y (b) PERO SE PREFERE (b) POR ECONOMIA DE TUBERIA

HP



DIMENSIONAMIENTO DE CABEZALES

REF. No.1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. V. de CARITINO MORENO

ESC. *H* FOLIO No. VII-29 FECHA: ENE-84

El cabezal I: longitud de 2,000 pies; Coeficiente de pérdida en las conexiones para la tubería y la salida $\Sigma K = 5$. El cabezal II: longitud de 100 pies; $\Sigma K = 3$. Máxima presión en retroceso permisible de la válvula en "P-3" es de 40 libras/pulgada cuadrada absolutas (Presión de ajuste de la válvula de seguridad de 60 libras/pulgada cuadrada manométricas).

Por medio de la fig. No. VII-28 se calcula con rapidez la presión en "P-2", que es la unión de los cabezales I y II: M-T-W P_2 (18 psia)-d (18 o 20 pulgadas)-N- $\Delta P/P_2$; $P_0 = (1 + \Delta P/P_2)P_2$.

P_2 es la presión en "P-1", y P_0 es la presión en "P-2".

CABEZAL I	4 f L/D	N	"P-2", PSIA	ΔP , PSI
18 pulg.	15.4	20.4	37.5	20.5
20 pulg.	13.4	18.4	30.5	13.5

La presión en "P-3" se estima de una manera semejante, utilizando la presión en "P-2" como la presión de flujo corriente abajo.

CABEZAL II	4 f L/D	N	"P-3", PSIA	ΔP , PSI	CABEZAL I
4 pulg.	5	8	37	6.5	20 pulg.
6 pulg.	3	6	38.5	1	18 pulg.

Entonces son posibles dos combinaciones de cabezales. La primera con 18 pulgadas para el cabezal I y la segunda de 6 pulgadas para el cabezal II y se prefiere por economía de tubería.

Se hace notar que la caída de presión para una razón de flujo corriente abajo (o corriente arriba) es aproximadamente ovarfa en una razón inversamente proporcional a d^5 . Esta relación

se utiliza para hacer estimados burdos del efecto del tamaño o dimensionamiento de la tubería o conductos sobre la caída de presión.

VII-8-6 Tubería de Admisión y de Descarga.

El tamaño nominal de la tubería de admisión es el mismo o mayor que el tamaño nominal de la entrada bridada de la tubería. Además, se recomienda que la pérdida de presión máxima, incluyendo la pérdida de entrada, no sea mayor de un 3 % de la presión de ajuste para la válvula de seguridad. Este requerimiento se verifica con rapidez por medio de la fig. No. VII-28- siguiendo los siguientes pasos: M-T-W-P₀-d-N- $\Delta P/P_0$ (≤ 0.03).

De igual manera, el tamaño nominal de la tubería de descarga debe de ser tan grande o mayor que el tamaño nominal del orificio de salida de la válvula. Algunas veces suele ser necesario aumentar el tamaño de la tubería no sólo para limitar la caída de presión, sino también para evitar velocidades elevadas del vapor o gas.

La línea de vapor para evitar el humo durante el quemado de gas en quemadores elevados, por razones prácticas, está limitada a un sexto del diámetro de la chimenea. Esto significa que durante el quemado de gas residual de máxima emergencia la flama no será sin humo.

El gas combustible para la purga se introduce de preferencia en el cabezal principal de los quemadores de gas con flujo hacia arriba. Una o más líneas de conductos de gas de purga pueden requerirse, en particular para arrancar la purga. En el arranque resulta deseable purgar los cabezales con gas combustible para eliminar el aire antes de encender los pilotos de la punta de la boquilla del quemador.

Otras aplicaciones del diagrama son la aplicación para

el dimensionamiento de los conductos o tubería de vapor o gas - en general. Con frecuencia los conductos o tubería se dimensionan en base a la velocidad del gas o caída de presión $\Delta P/P_0$ -- o (ΔP) por cada 100 pies lineales de tubería. Si se da la razón del flujo de masa, el peso molecular y la temperatura del gas, se selecciona de manera inmediata el tamaño apropiado del conducto por medio de la fig. No. VII-28, en donde se incluyen las líneas de velocidad y las líneas para $\Delta P/P_0$ por 100 pies.

El método desarrollado por Lapple es muy interesante, pero sumamente laborioso y requiere de cierta práctica por el diseñador de tuberías, ya que no es fácil de usar este método - adiabático.

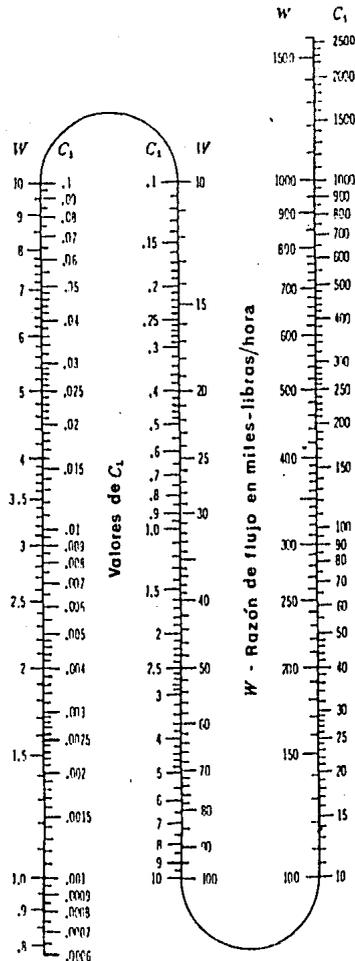
Presentaremos los datos técnicos de Crane No. 410, sección 1, un cálculo sencillo para determinar caídas de presión - con fluidos compresibles a través de los cabezales. Si la caída de presión a lo largo de todo el sistema es baja (5 libras/pulgada² Abs.) es razonable ignorar la compresibilidad del gas, el método propuesto por Crane es más simple para usarse en estos - casos, y el método de Lapple se propone para dimensionar válvulas de seguridad (vapor o gas) y válvulas de alivio (líquidos).

La ecuación simplificada para el flujo de fluidos compresibles es exacta para flujo turbulento, esta ecuación proporciona una buena aproximación en cálculos involucrando el flujo de fluidos compresibles a través de tuberías de hierro forjado o acero comercial. Si las velocidades son bajas, los factores - de fricción supuestos en la ecuación simplificada pueden ser de masiados bajos; en tales casos, la ecuación No. VII-73 y el nomograma presentado en la fig. No. VII-30 puede ser usado para - proporcionar una gran exactitud.

La ecuación de Darcy puede ser escrita de la siguiente forma:

CRANE

VALORES PARA LA CONSTANTE C_1



VALORES PARA LA CONSTANTE C_1

REF. No. 9

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. No. de CARITINO MORENO

Esc:

FIGURA No. VII-30

FECHA: ENE-84

$$\Delta P_{100} = W^2 \frac{0.000336 f}{d^5} \quad \bar{V} = (W^2 10^{-9}) \frac{336,000 f}{d^5} \bar{V} \quad (\text{VII-73})$$

De la ecuación anterior obtenemos el valor de las constantes C_1 y C_2 ,

$$C_1 = W^2 10^{-9} \quad C_2 = \frac{336,000 f}{d^5}$$

La ecuación simplificada puede ser escrita de la forma:

$$\Delta P_{100} = C_1 C_2 \bar{V}$$

Donde:

C_1 = Factor de descarga, fig. No. VII-30

C_2 = Factor de forma, Tabla No. VII-10

ΔP_{100} = Caída de presión por cada 100 pies de tubería, libras/pulgada².

\bar{V} = Volumen específico del fluido, pies³/libra.

Una vez que se tengan las condiciones por las cuales se esta descargando una corriente de gas de deshecho, por la ecuación 73 se puede calcular: La caída de presión, la capacidad de flujo y el tamaño adecuado de la tubería para la chimenea (stack) del quemador.

VII-9 METODOS GENERALES DE DISEÑO EN QUEMADORES ELEVADOS

Una vez dimensionada la tubería de desfogue, los ductos elevadores para quemadores elevados y los cabezales para los que

CRANE

Tamaño Nominal Pulgadas	Cédula Número	Valor de C ₂	Tamaño Nominal Pulgadas	Cédula Número	Valor de C ₂	Tamaño Nominal Pulgadas	Cédula Número	Valor de C ₂		
1/8	40 s	7 920 000.	5	40 s	1.59	16	10	0.00463		
	80 x	26 200 000.		80 x	2.04		20	0.00421		
				120	2.69		30 s	0.00504		
1/4	40 s	1 590 000.	6	160	3.59	40 x	40 x	0.00549		
	80 x	4 290 000.		... xx	4.93		60	0.00612		
3/8	40 s	319 000.	8	40 s	0.610	80	80	0.00700		
	80 x	718 000.		80 x	0.798		100	0.00804		
				120	1.015		120	0.00926		
1/2	40 s	93 500.	10	160	1.376	140	140	0.01099		
	80 x	186 100.		... xx	1.861		160	0.01244		
	160	4 300 000.								
3/4	... xx	11 180 000.	12	20	0.133	18	10	0.00247		
	40 s	21 200.		30	0.135		20	0.00256		
	80 x	36 900.		40 s	0.146		... s	0.00266		
1	160	100 100.	14	60	0.163	30	30	0.00276		
	... xx	627 000.		80 x	0.185		... x	0.00287		
				100	0.211		40	0.00298		
1 1/4	120	5 950.	16	120	0.252	60	60	0.00335		
	40 s	9 640.		140	0.289		80	0.00376		
	80 x	22 500.		... xx	0.317		100	0.00435		
1 1/2	160	114 100.	18	160	0.333	120	120	0.00504		
	40 s	1 408.		10	20		0.0397	140	140	0.00573
	80 x	2 110.			30		0.0421		160	0.00569
160	3 490.	40 s	0.0447							
... xx	13 640.		60 x	0.0514	20	10	0.00141			
			80	0.0569		20 s	0.00150			
			100	0.0661		30 x	0.00161			
1 3/4	120	627.	12	120	0.0753	40	40	0.00169		
	80 x	904.		140	0.0905		60	0.00191		
	160	1 658.		160	0.1052					
... xx	4 630.	14	20	0.0157	80	80	0.00217			
40 s	169.		30	0.0168		100	0.00251			
80 x	236.		... s	0.0175		120	0.00287			
2	160	488.	16	40	0.0180	140	140	0.00335		
	... xx	899.		... x	0.0195		160	0.00385		
				60	0.0206					
2 1/4	40 s	66.7	18	80	0.0231	24	10	0.000534		
	80 x	91.8		100	0.0267		20 s	0.000565		
	160	146.3		120	0.0310		x	0.000597		
... xx	380.0		140	0.0350	30	0.000614				
			160	0.0423	40	0.000651				
3	40 s	21.4	14	10	0.00949	80	80	0.000835		
	80 x	28.7		20	0.00996		100	0.000972		
	160	48.3		30 s	0.01046		120	0.001119		
... xx	96.6		40	0.01099	140	0.001274				
3 1/2	40 s	10.0	16	x	0.01155	160	160	0.001478		
	80 x	13.2		60	0.01244					
4	40 s	5.17	18	80	0.01416	24	80	0.000835		
	80 x	6.75		100	0.01657		100	0.000972		
	120	8.94		120	0.01898		120	0.001119		
160	11.80		140	0.02118	140	0.001274				
... xx	18.59		160	0.0251	160	0.001478				

Nota
Las letras s, x y xx en las columnas indican tubería estándar, extra y doble extra grueso respectivamente

TABLA DE VALORES PARA LA CONSTANTE C₂

REF. No. 9

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Va. Do. CARITINO MORENO

REC: FIGURA No. TABLA VII 10 FECHA: ENE-84

madores de fosa, los tanques separadores, el escalonamiento para el sellado, se procede propiamente al diseño del quemador.

El método que se sigue es demasiado conservador y los datos se obtuvieron de quemadores ya instalados sobre la deflexión y longitud de la flama, el ruido y la intensidad de variación de las razones de flujo de gas, direcciones de viento y la distancia de la flama. Los datos se evaluaron con la ayuda de los términos del API RP 521.

Los datos obtenidos de pruebas actuales en campo indican que el criterio del punto-fuente para el cálculo de quemadores elevados es adecuado para el diseño, un factor F de 0.25 para gases ligeros y un factor F de 0.4 a 0.5 para gases pesados. Los flujos de calor por radiación térmica permisibles dados en el API RP 521 son demasiado conservadores y se sugieren nuevos métodos.

VII-9-1 Aplicación del método Punto-Fuente.

La ecuación básica para el cálculo del flujo de calor radiante de un quemador elevado, supone un punto-fuente para toda la radiación que está en el centro de la radiación, esta ecuación es:

$$K = \frac{(F) (Q)}{4\pi X^2} \quad (\text{VII-1})$$

Donde:

K = Flujo de calor radiante de la flama, BTU/hora pie².

F = Fracción total radiado.

Q = Calor liberado, BTU/hora.

X = Distancia del centro de la flama al punto de interés, pies.

Se analizó el efecto de suponer que el centro de radiación en varios puntos a lo largo del contorno de la flama en un quemador de 16 pulgadas de diámetro, obteniéndose una gráfica de K contra el inverso de $1/X$. Las pendientes de las líneas para tres capacidades de flujo varían desde 1.88 hasta 2.20. Esto nos indica que la suposición del punto-fuente es válida, ya que concuerda realmente con esta suposición produciendo la gráfica K -- contra $1/X$ con una pendiente de 2.0. Fig. No. VII-31.

Entonces, se puede escoger adecuadamente el centro de radiación en la mitad de la distancia desde la chimenea del quemador de gas hasta la punta de la flama.

Para estimar la ubicación del centro de radiación para el cálculo del quemador elevado, es necesario hacer la predicción de la longitud de la flama y también su deflexión. La tabla No. VII-11 presenta un plan de tabulación de las longitudes observadas por Gillis y los valores calculados por los procedimientos de API RP 521, Reed, Kent y Brzustowski. Los valores observados se graduaron a escala a partir de películas cinematográficas.

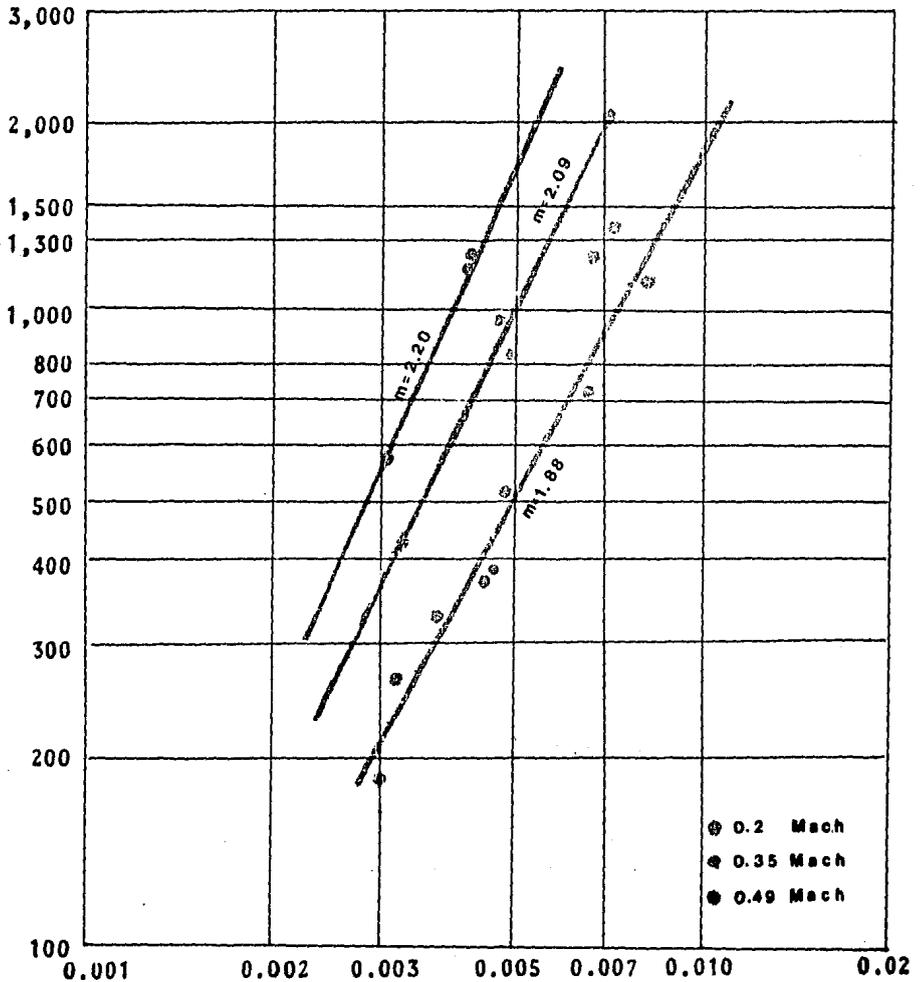
Estos valores fueron apoyados posteriormente por medio de transparencias y mediciones de teodolito de las coordenadas de la punta de la flama.

La tabla No. VII-11 indica que el procedimiento de Brzustowski produce resultados que muestran la mejor concordancia -- con los datos.

El ángulo de deflexión de la flama a partir de la vertical también se emitió. La tabla No. VII-12 presenta una tabulación de la deflexión observada y de los valores calculados por la API RP 521, Kent, Owen y Brzustowski. Los valores observados se obtuvieron nuevamente a partir de películas cinematográficas. Nuevamente, el procedimiento de Brzustowski produce mejores re--

HP

$K = \text{BTU/HORA PIE}^2$



Evaluación del modelo punto-fuente
ensayo de Gillis

REF. No. 8

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

Dir: JESUS SOLIS G.

Co-Dir: CARITINO MORENO

Esc.

FIGURA No.

VII-31

FECHA:

ENE-84

TABLA VII-11--COMPARACION DE LA LONGITUD DE FLAMA-PRUEBA GILLIS

CASO	VELOCIDAD DEL GAS (MACH No.)	VALORES OBSERVADOS	API (Calor)	RESULTADOS CALCULADOS		
				BRZUSTOWSKI	KENT (L/D)	REED (8/6)
1	0.20	89	134	77	154	121/161
2	0.35	102	175	98	-	210/280
3	0.49	142	205	115	-	294/392

NOTA: Las longitudes de flama son en pies. Los resultados calculados están basados en la liberación de calor según la API (Ecuación 1), el procedimiento Brzustowski, la relación del largo sobre el diámetro según Kent como una función del número de Mach (Ecuación 3) y el área de la boquilla según Reed basada en la liberación de calor de una constante de 8/6.

TABLA VII-12--COMPARACION DEL ANGULO DE LA FLAMA-PRUEBA GILLIS

CASO	VELOCIDAD DEL GAS (MACH No.)	VALORES OBSERVADOS	API	CALCULADOS BRZUSTOWSKI	<u>KENT</u> OWEN
1	0.20	15.9	33.5	21.2	1.5
2	0.35	20.1	28.1	12.7	1.0
3	0.49	3.9	20.6	11.0	0.7

Nota: Los ángulos de la flama son grados. Los resultados calculados son basados en el procedimiento Brzustowski y en el método simple de la API, los procedimientos Kent/Owen por el vector suma de las velocidades de salida del gas y del viento.

sultados.

Las diversas formas de la flama que se vieron en la película cinematográfica de la prueba de Gillis (Fig. No. VII-32) suelen ser muy diferentes de las formas idealizadas de la flama. La capacidad de flujo más alta da la menor variación en la forma general. El ancho máximo de la flama vario de 20 a 60 pies, parece que no hay una relación consistente entre el ancho y la longitud de la flama.

VII-9-2 Factor F (Fracción de Calor Radiado).

Los datos técnicos que se obtuvieron de la pruebas de Gillis y Ponca City se analizaron utilizando el modelo del punto fuente con el centro de la radiación a la mitad de la flama.

El factor F se calcula por la ecuación No. 1:

$$F = \frac{4\pi X^2 K}{Q}$$

La teoría de la radiación indica que la radiación sentida por un receptor en cualquier punto depende del ángulo de emisión de la radiación o ángulo de vista α , el cual es el complemento del ángulo entre la superficie de la flama y la línea de vista que va desde el observador hasta el centro de radiación.

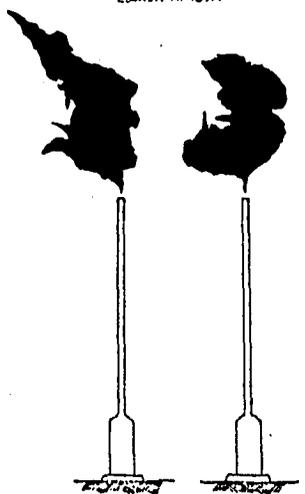
La ecuación 3 describe esta relación:

$$K = \frac{F \text{ Corregido } \cos \alpha Q}{4\pi X^2}$$

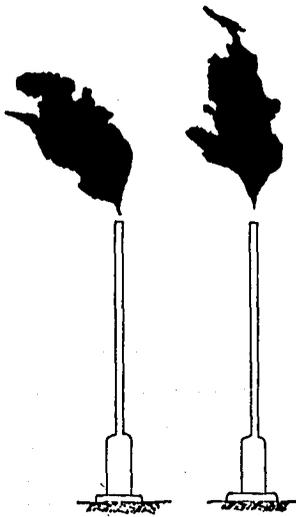
Donde el factor F corregido es la fracción de calor radiado corregido para el ángulo de vista. Sustituyendo esta ecuación

50 PIES
 ESCALA APROX.

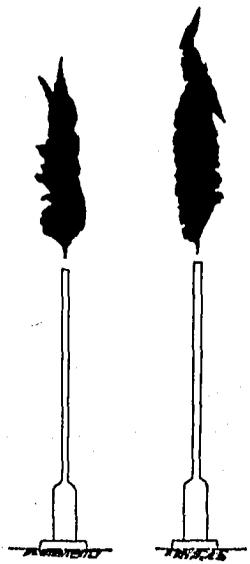
HP



CASO 1
 0.20 Mach.
 32 MMscfd



CASO 2
 0.35 Mach.
 56 MMscfd



CASO 3
 0.49 Mach.
 79 MMscfd

FORMAS TIPICAS DE FLAMA. ENSAYO DE GILLIS
 REF. No. 8

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

D/13:	JESUS SOLIS G.	Vo. Bo.	CARITINO MORENO
Esc.	<i>H</i>	FIGURA No. VII-32	FECHA: ENE-84

ción en la ecuación del factor F no corregida obtenemos:

$$F \text{ Corregida} = F / \cos \alpha$$

La tabla No. VII-13 y 14 presentan los factores calculados y valores corregidos para los datos de Gillis y Ponca City, respectivamente. Estos resultados indican que el factor F es independiente tanto de la distancia de la chimenea del quemador -- elevado como la capacidad de flujo de gas (velocidad de salida).

Los valores F y F corregidos que se obtuvieron en Gillis y Ponca City se analizaron para determinar si se observaba el fenómeno de vista de ángulo. Los resultados de Gillis indican un ajuste ligeramente mejor a la curva para el factor F que para los valores corregidos F. Los resultados de Ponca City indican la tendencia opuesta. Estos resultados señalan que los valores calculados obtenidos con el método del ángulo de vista dan un mejor ajuste para los datos de Ponca City y un ajuste más malo para los datos de Gillis. Por lo tanto, se recomienda que se utilice para los cálculos un sólo método de punto-fuente sin ángulo de vista, debido a:

- a) Incertidumbre con respecto al ángulo vista.
- b) Sencillez de cálculo.
- c) Naturaleza imprecisa general del diseño del quemador elevado.

Basándose en estos datos, se recomienda un factor constante de $F = 0.25$ para un gas con peso molecular de 16.8 y un factor F constante de 0.4 con vapor y 0.5 sin vapor para un gas con peso molecular de 40.

VII-9-3 Flujos permisibles para la exposición del personal.

Los flujos permisibles para la exposición del personal -

HP

CASO	HORA DEL DIA	VELOCIDAD DEL GAS (MACH No.)	FLUJO DEL GAS (MMscfd)
1	10:55-11:31 a.m.	0.20	32
2	13:20-13:34 p.m.	0.35	56
3	14:37-14:42 p.m.	0.49	79

TABLA VII-13 FACTORES "F" PRUEBA GILLIS

Corrida	Velocidad (Mach no.)	Localizacion	Distancia al quemador pies	Distancia al centro de la ftama, pies	Factor, F (-)	F Corregida (-)
1	0.20	viento arriba	300	334	0.19	0.24
1	0.20	"	200	243	0.21	0.31
1	0.20	"	100	163	0.19	0.41
1	0.20	"	50	133	0.19	0.93
1	0.20	viento transversal	250	277	0.26	0.28
1	0.20	"	200	233	0.20	0.23
1	0.20	"	100	155	0.30	0.45
1	0.20	viento a favor	100	147	0.29	0.37
1	0.20	"	200	222	0.25	0.26
1	0.20	"	300	311	0.25	0.26
2	0.35	viento arriba	160	216	0.22	0.39
2	0.35	viento a favor	300	308	0.23	0.23
2	0.35	"	200	220	0.26	0.27
2	0.35	"	100	146	0.26	0.32
3	0.49	"	300	329	0.25	0.27
3	0.49	"	200	244	0.29	0.34
3	0.49	"	300	329	0.25	0.27
3	0.49	"	200	244	0.28	0.33

REF. No. 8

HP

corrida	Flujo de gas (MMscfd)	Distancia al quemador pies	Distancia al centro de la flama, pies	Factor F (-)	F Corregida (-)
Localización No. 1. 9 de Noviembre de 1975					
1	10.7	50	216	0.30	0.32
		150	240	0.58	0.58
		250	297	0.89	0.98
		50	226	0.35	0.41
		150	267	0.42	0.46
		250	334	0.45	0.48
		50	236	0.36	0.40
		150	292	0.25	0.51
		250	367	0.21	0.71
2	10.4	150	255	0.81	0.98
3	13.7	50	231	0.45	0.60
		100	241	0.39	0.45
		150	260	0.39	0.41
		250	319	0.36	0.36
Localización No. 2. 6 de Enero de 1976					
1	4.8	50	211	0.47	0.48
		100	220	0.50	0.50
		150	240	0.37	0.30
2	9.2	50	211	0.31	0.32
		100	220	0.32	0.32
		150	230	0.27	0.28
Localización No. 2. 13-14 de Diciembre de 1976					
1	4.6	50	209	0.09	0.09
		100	221	0.09	0.09
		50	214	0.10	0.11
2	6.4	44	211	0.44	0.46
		100	220	0.46	0.46
		44	211	0.45	0.46
		50	220	0.43	0.48
3	9.2	44	214	0.38	0.40
		100	220	0.37	0.37
		150	237	0.38	0.39
		200	262	0.38	0.40
		50	225	0.35	0.40
		100	241	0.33	0.37
		50	246	0.31	0.41
		100	261	0.27	0.43
		150	292	0.23	0.45

**FACTORES F-PRUEBA DE
PONCA CITY**

REF. No. 8

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vd. CARITINO MORENO

ESC:  FISICA No. TABLA VII-14 FECHA: ENE-84

son muy subjetivos y dependeran de muchas variables. Como ya se mencionó, se estimaron los valores de exposición en corto tiempo y se extrapolaron a tiempos más largos. Los flujos permisibles son mostrados en la tabla No. VII-9. Además, los flujos -- permisibles recomendados se grafican en la fig. No. VII-33 por Brzustowski y por Sommer, API RP 521 y Gillis. Como puede observarse los datos de Gillis son semejantes a los resultados derivados en campo por Brzustowski y mucho menos conservadores que los datos derivados del laboratorio en la API RP 521. Los resultados de Gillis también se comparan con los 1000 BTU/Hora pie² por Hajek y Ludwig para un tiempo de 20 minutos.

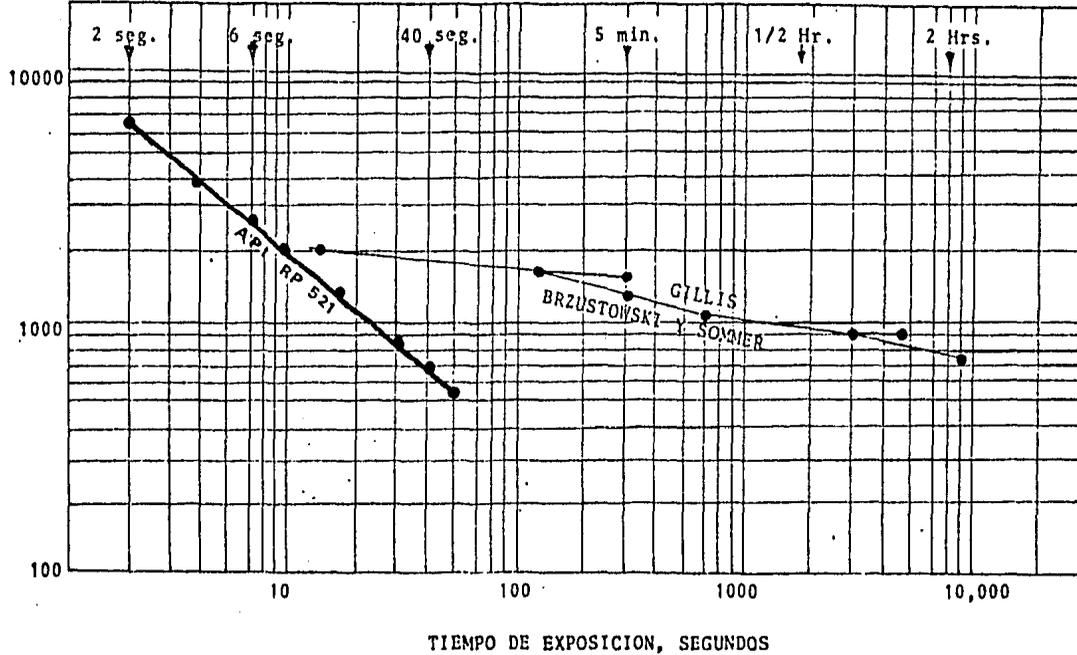
VII-9-4 Sugerencias para el diseño de un Quemador Elevado.

Los datos técnicos presentados en el presente capítulo, dan buenas guías para el cálculo y diseño de un quemador elevado. Es muy importante sin embargo que el diseñador aplique el - criterio del sentido común al diseño, en particular, al establecer las bases para su diseño.

Resulta fácil desarrollar una base sobre suposiciones- para todas las variables del sistema incluyendo la frecuencia - del quemado, flujo de calor por radiación solar, velocidad y dirección del viento, capacidad de gas a quemar, etc. Este criterio conduce a sistemas de quemadores sobrediseñados, y en consecuencia los costos son muy altos, el diseñador deberá desarrollar un quemador elevado que sea a la vez seguro y tenga un precio razonable.

Un método probabilístico es un buen medio para tratar - con el diseño del quemador elevado. Utilizando un tiempo meteorológico variable y datos sobre el viento y la historia pasada- de estimados de la frecuencia de quemado, el diseñador puede desarrollar una curva de probabilidad para la radiación de la flama. Esta curva resultará en una gráfica de los valores de flujo

$K = \text{BTU/HORA PIE}^2$



**FLUX PERMISIBLES RECOMENDADOS
PARA EXPOSICION DE PERSONAL**

REF. No. 8

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vo. de CARITINO MORENO

Esc.

Figura No. VII-33

FECHA: ENE-84

de calor de radiación contra el porcentaje de tiempo durante la vida de la planta en la cual excederá el valor del flujo calorífico respectivo.

VII-10 METODOS PARA EL CALCULO DE QUEMADORES ELEVADOS

VII-10-1 Generalidades.

Presentaremos los métodos más usuales para el cálculo correcto de la altura de un quemador elevado basado en los niveles aceptables de calor radiado a varios puntos alrededor de la chimenea.

Tres de los métodos más usuales serán presentados en esta sección:

1. RP-521: INSTITUTO AMERICANO DEL PETROLEO
Práctica Recomendada RP-521
"Guia Para relevo de presión y -
sistemas de desfogue.
2. Brzustowski: "Predicción del Calor Radiante -
de Quemadores".
- 3.- Kent: "Diseño Práctico de Quemadores -
Elevados".

"Efecto de la Radiación en Quemadores".

Generalmente, aunque el método API y el método Brzustowski son significativamente diferentes, los resultados en aproximaciones producidos por cada uno de ellos para la altura del quemador basada en el grado de nivel para la intensidad de calor crítica de la flama, no es en gran parte diferente. El

juicio principal de la API RP-521 es que varios de los elementos en el cálculo son aportados juntos de orígenes totalmente diferentes y no tienen evidencia experimental disponible para justificar esta combinación.

Una posición del centro de flama es elegida la cual representa un centro geométrico, aquí no se intenta hacer una referencia de la posición de la flama a la posición del observador.

Brzustowski recurre a una longitud para producir una posición real de la flama y cita el centro geométrico de la flama, en tanto que aparentemente la emisividad es arbitraria, y los efectos de absorción atmosférica son permitidos

Kent obtiene un ángulo de inclinación de la flama y establece el centro geométrico de la flama a una posición "X" del punto de observación.

El nivel necesario de radiación incidente para la protección del personal, es un valor de 1500 BTU/hora pie² el cual es tomado como el nivel máximo para estimular al personal evitando causar el dolor inmediato. Este valor es usado como un nivel "seguro" de calor en los cálculos. Es muy importante recordar de cualquier modo que esta es una forma de escape para evitar que cualquier persona quede permanentemente expuesta al calor de radiación que no deberá experimentar más de 500 BTU/hora pie².

VII-10-2 Cálculos Para Determinar la Intensidad de Calor Para Quemadores Elevados, Usando el Método API.

A continuación se describe el procedimiento para el dimensionamiento de quemadores elevados.

1. Se debe contar con los datos básicos a las condiciones de operación del efluente a tratar.

del viento, de la gráfica anexa fig. No. VII-34 (método gráfico).

$$\frac{M^w}{M_o} = \frac{\text{Velocidad del viento}}{\text{Velocidad del gas}}$$

$$\frac{\sum \Delta y}{L} = (\text{fig. No. VII-34}); \sum \Delta y = \text{Pies}$$

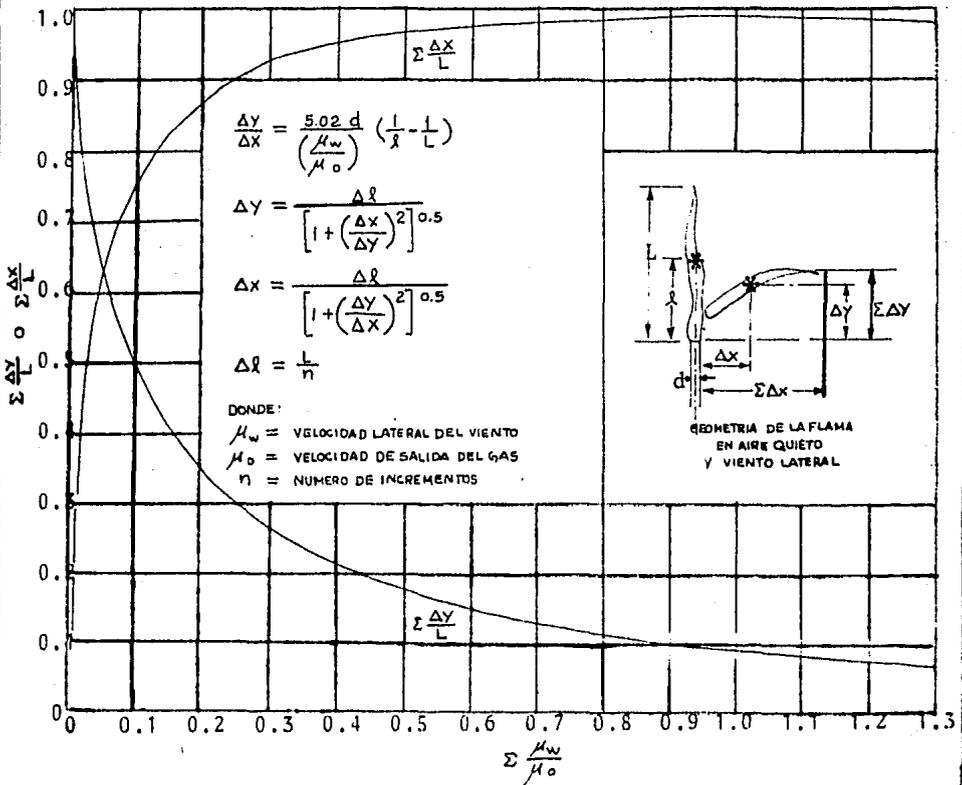
$$\frac{\sum \Delta x}{L} = (\text{fig. No. VII-34}) \sum \Delta x = \text{Pies.}$$

5. Calcular la altura requerida para el quemador elevado.
 - a. Por la composición química del gas, obtener la fracción de calor radiado, F.
 - b. La cantidad de calor liberado Q, se obtuvo del punto No.3.
 - c. La máxima radiación permisible para R = 150 pies del quemador, K = 2000 BTU/hora pie².
 - d. Calcular el diámetro del círculo limitante D (X)* alrededor de la chimenea del quemador por la ecuación de Hajek y Ludwig (VII-1).

$$D = \sqrt{\frac{(F) (Q)}{4 (3.14) K}}$$

* Algunos autores toman a D o X como el diámetro del círculo limitante para el término de la distancia mínima del punto medio de la flama a un objeto, ambos son conjuntamente considerados tanto para la API RP-521 que utiliza a D en lugar de la variable X como lo indica Brzustowski y Kent, de cualquier ma

GRAFICA PARA LA DISTORSION DE LA FLAMA
CAUSADA POR LA VELOCIDAD DEL VIENTO



Gráfica para la distorsión de la flama por efecto del viento

REF. No. 3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vo. 66 CARITINO MORENO

FIGURA No. VII-34

FECHA: ENE-84

6. Calcular la altura del quemador, H

- a. Para ello utilizar el dibujo de la fig. No. VII-35 y realizar la secuencia de las siguientes ecuaciones.

$$H' = H + 1/2 (Y)$$

$$R' = R - 1/2 (X)$$

$$D^2 = R'^2 + H'^2$$

VII-10-3 Cálculo Para el dimensionamiento de un quemador elevado, usando el método Brzustowski.

El procedimiento recomendado para el cálculo de la radiación térmica de un quemador elevado, es como a continuación se describe:

1. Condiciones de proceso requeridas.

A. Propiedades del gas.

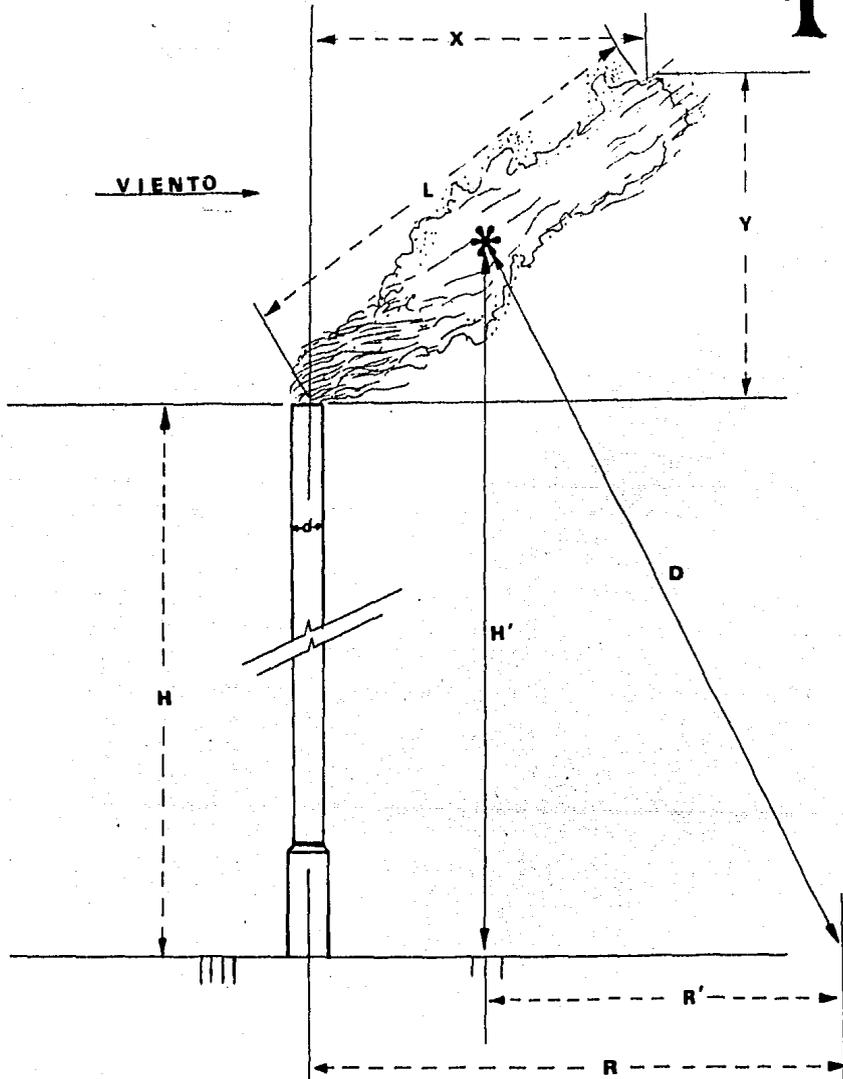
- a. Peso molecular del gas a quemar, M_j
- b. Valor calorífico neto del gas, LHV en BTU/pie³
- c. Temperatura en grados Rankine del gas, T
- d. Relación de calores específicos a la temperatura dada:

$$(C_p/C_v)$$

B. Capacidad del gas a quemar, pies³/hora standard (SCFH).

nera nuestra intención es evitar una desorientación para el lector en el uso de la variables designadas.

Φ



Esquema para el cálculo de la altura del quemador

REF. No. 3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vo. Bo. CARITINO MORENO

ESC. *[Signature]*

FIGURA No. VII-35

FECHA: ENE-84

- C. Velocidad promedio del viento y su dirección.
 D. Diseño del número de Mach, siguiendo la guía de aproximación para dos casos:

Resplandor continuo de flama	0.2 Mach
Resplandor de emergencia intermitente	0.5 Mach

2. Calcular la velocidad sónica, V_s , en pies/seg. para el gas a quemar. (VII-64)

$$V_s = 223 \sqrt{\frac{(k)(T)}{M_j}}$$

3. Calcular la velocidad de salida, V_E , en pies/seg.

$$V_E = (\text{Número de Mach}) V_s$$

4. Calcular el volumen actual de flujo a la punta de la boquilla del quemador, pies³/seg. actuales (acfs).

$$\text{acfs} = \frac{\text{scfh} (10.73) (T)}{379.5 (3600) (14.7)} = \frac{\text{scfh} (T)}{1.872 \times 10^6}$$

5. Calcular el diámetro de la boquilla, D en pulgadas

$$D = 12 \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{\text{acfs}}{V_E}} \quad (\text{VII-74})$$

Una vez obtenido el diámetro tomar el diámetro mayor más próximo al calculado.

6. Calcular la longitud y la deflexión de la flama usando el método de Brzustowski "UN MODELO PARA LA PREDICCIÓN DE LA FOR-

MA Y LONGITUDES DE LA DIFUSION DE FLAMAS TURBULENTAS EN QUEMADORES INDUSTRIALES ELEVADOS".

Y se requiere de la siguiente información:

- a. M_j , Peso en mol del gas a quemar.
- b. ρ_j , Densidad del gas a quemar, libras_m/pie³.
- c. u_j , Velocidad de descarga del gas, pies/seg.
- d. d_j , Diámetro interno de la boquilla, pies.
- e. u_w , Velocidad del viento, pies/seg.
- f. ρ_a , Densidad del aire del medio ambiente, libras_m/pie³.
- g. M , Peso en mol del aire (28.96).
- h. Y_i , Fracciones mol de la composición del gas.

A. Calcular C_L

- a. Obtener la fracción mol Y_i de cada uno de los componentes en la mezcla del gas.
- b. Calcular la fracción mol del volumen límite seco C_{Li} de cada componente de la mezcla del gas.
- c. Obtener la relación Y_i/C_{Li} y sumarlos para obtener el total, ya que $Y_i/C_{Li} = 1/C_L$.

B. Calcular \bar{C}_L , concentración del gas a límite seco. Adimensional.

$$\bar{C}_L = C_L \frac{u_j}{u_w} \frac{M_j}{M_a}$$

C. Determinar \bar{S}_L para dos casos:

- a. Si $C_L < 0.5$ entonces $\bar{S}_L = \frac{2.04}{\bar{C}_L \cdot 1.03}$

b. Si $C_L > 0.5$ entonces $\bar{S}_L = \frac{2.51}{\bar{C}_L^{0.625}}$

D. Coordenadas viento a favor de la punta de la boquilla de la chimenea, adimensional.

$$\bar{X}_L = \bar{S}_L - 1.65$$

E. Ascenso adimensional de la punta de la boquilla.

$$\bar{Z}_L = 2.05 \bar{X}_L^{0.28}$$

F. Relación de raíces cuadradas de la boquilla y viento, adimensional.

$$R = \frac{u_j}{u} \left[\frac{\rho_j}{\rho_\infty} \right]^{1/2}$$

G. Coordenadas viento a favor de la punta de la boquilla.

$$X_L = \bar{X}_L d_j R$$

H. Ascenso dimensional de la punta de la boquilla.

$$Z_L = \bar{Z}_L d_j R$$

I. Coordenadas del centro de flama de la boquilla.

$$X_L = \bar{X}_L d_j (R)$$

$$Z_L = \bar{Z}_L d_j (R)$$

El centro de la flama será a:

$$\frac{X_L}{2}, \frac{Z_L}{2}$$

$X_L/2$, pies viento a favor de la chimenea y $Z_L/2$, pies hacia arriba de la boquilla de la chimenea.

Con estos datos se determina la localización del centro de la flama. El centro deberá ser el punto medio del contorno de la flama.

7. Determinar el flux de la flama permisible para la exposición del personal, usando la tabla No. VII-9 y la fig. No. VII-33. Los valores de la tabla 9 y la figura 33 incluyen dos componentes una para la flama y una componente para la radiación solar. La rapidez con que la energía solar incide sobre una superficie unitaria, colocada normalmente al sol, tiene un valor de 442 BTU/hora pie².

Para un resplandor de la flama continuo usar un flux permisible de 600 BTU/hora pie², suponer una radiación solar de 350-BTU/hora pie². Este valor será la irradiación recibida en el punto de la superficie de la tierra.

$$K = 250 \text{ BTU/hora pie}^2$$

8. Calcular la distancia requerida del centro de la flama a el punto de interés.

$$D = \sqrt{\frac{(F)(Q)}{4\pi(K)}}$$

- a. Fracción radiada. Usar $F = 0.25$ para gases ligeros; $F = 0.4$ a 0.5 para gases pesados.
- b. Calor liberado Q , del gas en BTU/hora.

$$Q = \left(\text{Capacidad del gas, } \frac{\text{pies}^3}{\text{hora}} \right) \left(\text{Valor calorífico, } \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^3} \right)$$

- c. Flux de calor permisible de la flama, $K = 250 \text{ BTU/hora pie}^2$.
 - d. Distancia del centro de la flama D , pies al punto de interés.
9. Conociendo la distancia requerida del centro de la flama y la geométrica que se presenta en la fig. No. VII-36, determinar la altura y localización del quemador.

Suponiendo una distancia horizontal L , calcular la altura H de la chimenea haciendo combinaciones de L y H en forma de tabulación.

VII-10-4 Cálculo de intensidades de calor para quemadores elevados, usando el método Kent.

Este método esta basado en los trabajos realizados por G. R. Kent "Diseño Práctico de Quemadores Elevados" y el "Efecto de la Radiación de Quemadores".

El procedimiento es como a continuación se describe:

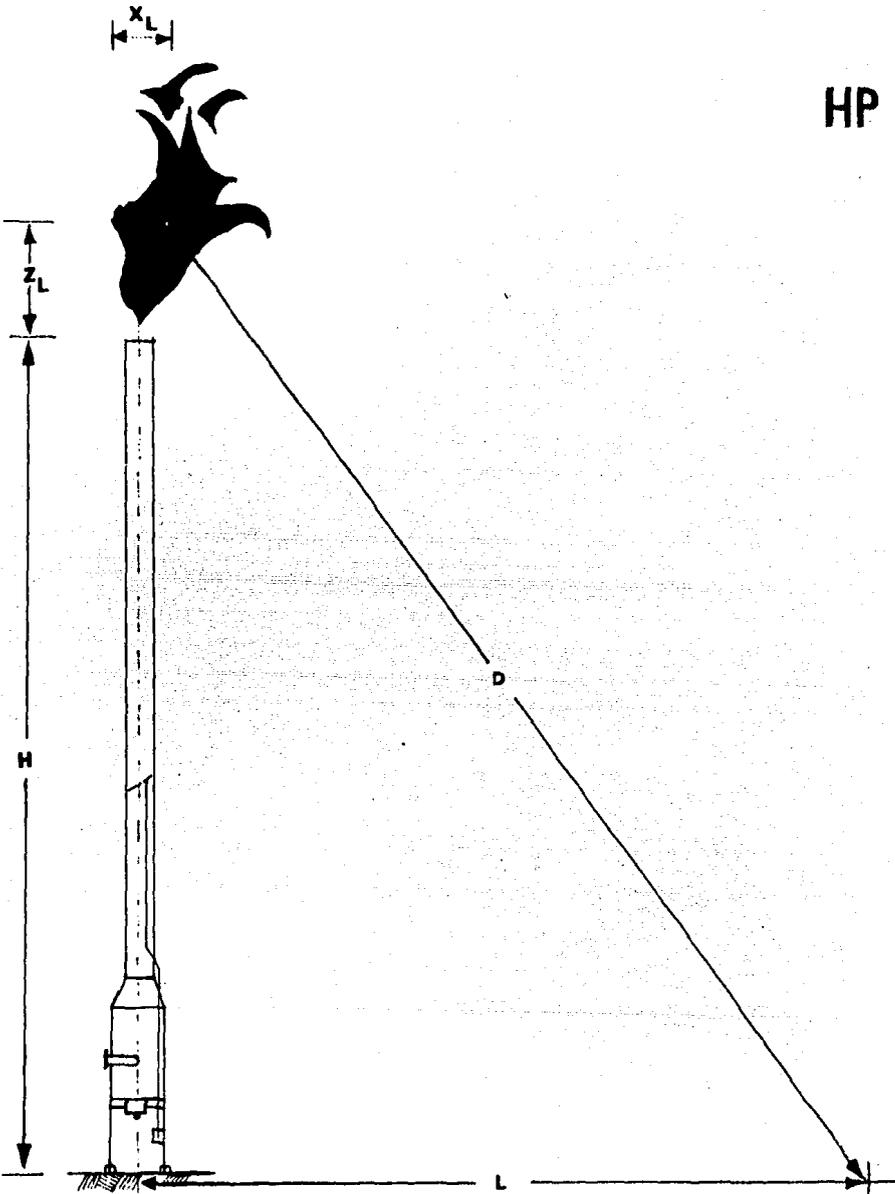
1. Bases de diseño:

- | | |
|--|-------------|
| a. Flujo de gases a quemar (W) | libras/hora |
| b. Valor calorífico del gas (LHV) | BTU/libra |
| c. Velocidad del viento (U_w) | pies/seg. |
| d. Velocidad de salida del gas (U_o) | pies/seg. |

2. Cálculo de la liberación de calor.

$$Q = \text{Calor Liberado en BTU/hora} = W \times \text{LHV}$$

HP



Geometría para obtener la altura
y coordenadas del centro de flama

REF. No. 8

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vo. Bo CARITINO MORENO

ESC:

FIGURA No.

FECHA:

VII-36

ENE-84

3. Determinar la longitud de la flama, L

- El valor limitante de $L = 120$ Diámetros.
- Diámetro nominal de la boquilla, D en pulgadas.
- La longitud estimada de la flama se obtiene por:

$$L = \frac{118 \times D}{12} = \text{Pies}$$

4. Cálculo de la distorsión de la flama causada por el viento.

- Con la ayuda de las figs. Nos. VII-17 y VII-18, obtener el ángulo de inclinación .

$$\text{Tan } \theta = \frac{u_w}{u_o} = \frac{\text{Velocidad del viento}}{\text{Velocidad de salida}}$$

Por lo que, obtenemos el ángulo de inclinación θ .

5. Determinar la intensidad de calor.

$$X = \sqrt{\frac{(F) (Q)}{4 \pi K}}$$

Bases de diseño:

- Fracción de calor radiado, F
- Calor liberado, Q en BTU/hora
- Máxima intensidad de calor permisible, K en BTU/hora pie²
- Distancia de la base al punto de interés, Y en pies

6. Determinar la altura del quemador (Solución iterativa).

- Suponer una H teórica en pies.

$$X_m = H (H + L)$$

$$X^2 = \left\{ Y - (X_m - H) \text{ Sen } \theta \right\}^2 + \left\{ H + (X_m - H) \text{ Cos } \theta \right\}^2$$

A la base del quemador Y - Y' supuesta.

$$X^2 = \left\{ H + (X_m - H) \text{ Cos } \theta \right\}^2$$

Por lo tanto, "X" es la distancia requerida para la intensidad de calor y por trigonometría se obtiene la altura del quemador.

VII-11 METODO PARA EL CALCULO DE QUEMADORES DE FOSA

VII-11-1 Generalidades.

El tipo de quemador de fosa por instalar dependerá grandemente de la situación que prevalezca en la operación de las --- plantas.

Un quemador sin humo deberá ser utilizado para la operación de las plantas, ya que requiere de un área grande y su equipo es mucho más costoso. Se recomienda por tanto para flujos relativamente bajos.

Un quemador con humo es diseñado para cubrir el gas resultante de una emergencia de planta.

La combinación de ambos diseños ofrece seguridad para -- las necesidades de una refinería o planta petroquímica.

Para fijar el criterio a seguir en la selección de estas instalaciones debe tenerse en cuenta que:

- a) El humo producido durante una emergencia no viola las normas ordinarias locales.
- b) La operación sin humo no causa un nivel de ruido -- que disturbe a la comunidad cercana.
- c) La luminosidad no es un verdadero problema en quemadores sin humo por lo que pueden ocupar un lugar -- prominente dentro de la refinería y recibir el mantenimiento adecuado.

VII-11-2 Diseño de Quemadores de Fosa Para Quemado con Humo.

Nos ocuparemos en presentar el diseño de un quemador de fosa con humo por los siguientes aspectos a saber:

- a) Las partículas sólidas como coque u hollín que se queman en la flama emiten una gran cantidad de radiación.
- b) Por la presencia de humo en el extremo de la pluma de la flama, la luminosidad de la flama será muy grande.

Una fosa para el quemado de gases de deshecho generados por alguna situación de emergencia puede ser diseñada de acuerdo a los dos procedimientos siguientes:

- a) Por longitud de flama

1. Para un viento tranquilo, la longitud de la flama será (menor de 20 millas/hora)

$$L_f = 10 D \sqrt{\frac{\Delta P \text{ (Boquilla)}}{55}}$$

Para un viento alto, la longitud de flama será (mayor de 20-

millas/hora)

$$L_f = 2 D \sqrt{\frac{\Delta P \text{ (Boquilla)}}{55}}$$

Donde:

L_f = Longitud de flama

ΔP = Caída de presión en la boquilla de quemado en pulgadas de agua.

D = Diámetro de la boquilla en pulgadas.

2. El centro de la flama se encontrará a una tercera parte de su longitud para viento tranquilo y a un medio de su longitud para viento alto.

$$L_{fc} = \frac{L_f}{3} \quad \text{o bien} \quad L_{fc} = \frac{L_f}{2}$$

3. La velocidad de salida en la boquilla será:

$$V_E = 550 \sqrt{\frac{\Delta P \text{ (Boquilla)}}{55}} = \text{Pies/seg.}$$

4. La velocidad del viento podrá oponerse para un caso crítico, a la velocidad de salida de los gases.

$$V_{\text{viento}} \text{ (Pies/seg)} = 1.47 \times \text{Viento (Millas/hora)}$$

5. El ángulo de levantamiento que tenga la flama será originada por el viento más el ángulo propio ocasionado por la densidad del gas caliente.

$$\text{Angulo total} = \text{Angulo viento} + \text{Angulo levantamiento.}$$

Referido a la figura No. VII-37, el ángulo debido al viento-
es:

$$\theta_w = \text{Arc Tan} \frac{\text{Velocidad del viento}}{\text{Velocidad de salida del gas}}$$

El ángulo de levantamiento será:

$$\theta_B = \text{Arc Tan} \frac{5.25}{\text{Velocidad de salida del gas}}$$

$$\theta_t = \theta_w + \theta_B$$

Y las coordenadas del centro de la flama son:

$$X_c = L_{fc} \text{ Cos } \theta$$

$$Y_c = L_{fc} \text{ Sen } \theta$$

6. Además la distancia R a la que un observador podrá situarse-
en un valor de límite seguro es:

$$R = \sqrt{(X + X_c)^2 + (H + Y_c)^2} = \text{Pies}$$

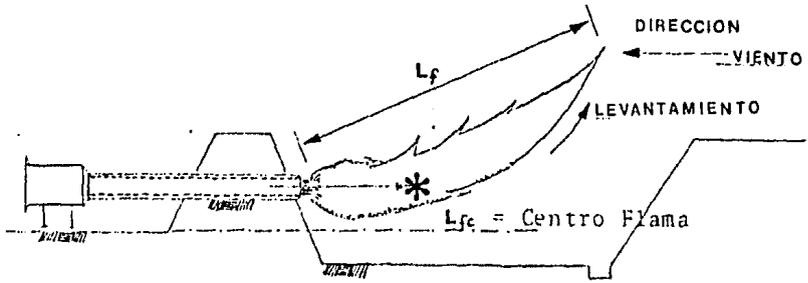
7. La intensidad de radiación a la distancia R es:

$$K = \frac{(W) (h_c) (\epsilon)}{4\pi R^2}$$

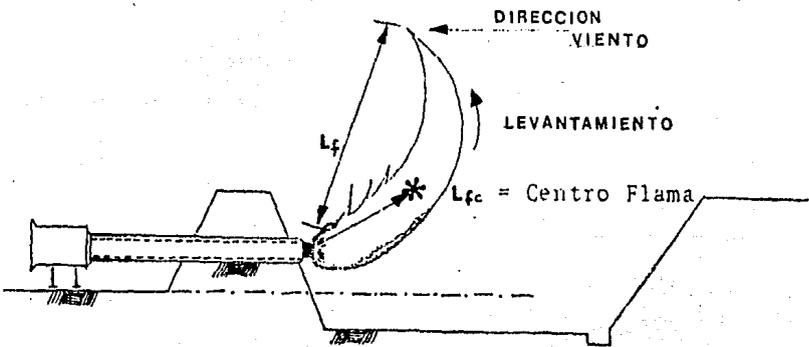
Donde:

K = Intensidad de radiación, BTU/hora pie²

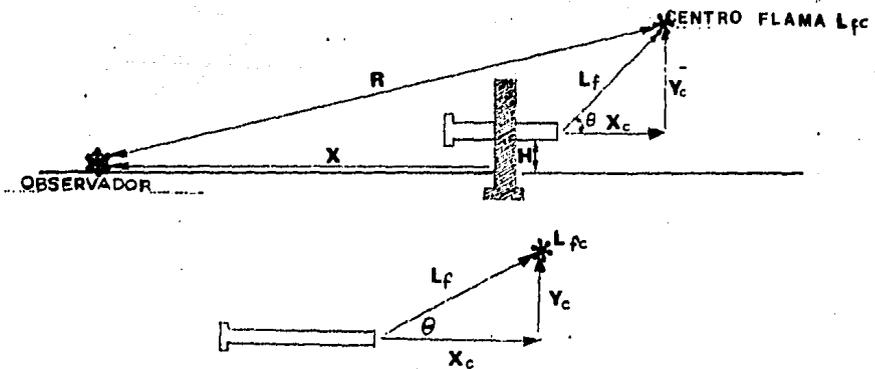
h_c = Valor calorífico neto BTU/lb (h_c = 50 M + 100)



1.- EFECTO DEL VIENTO (BAJO VIENTO) SOBRE LA FLAMA



2.- EFECTO DEL VIENTO (ALTO VIENTO) SOBRE LA FLAMA



INFLUENCIA DEL VIENTO SOBRE LA FLAMA EN UN QUEMADOR DE FOSA CON HUMO
REF. No.5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

PIB: JESUS SOLIS G. | Vo. de: CARITINO MORENO

Eloc: [Signature] | FIGURA NO: VII-37 | FECHA: ENE-84

M = Peso molecular del gas.

ϵ = Emisividad del gas

La longitud de la flama deberá ser absorbida por la longitud de la fosa.

b) Por área de quemado.

Los valores más recomendados son:

Criterio Mc Kee: 275,000 Pies³/día Estandar/metro²

Criterio Lummus: 500,000 Pies³/día Estandar/metro²

De lo anterior se desprende que el área necesaria para una buena relación gas/aire en la fosa saldrá de la razón del flujo de gas al valor recomendado.

Para este tipo de quemador de fosa de emergencia que consiste de boquillas en arreglo horizontal, los factores de diseño tales como radiación, velocidad de la flama, estabilidad de flama, protección al sistema, etc. son exactamente los mismos que para los quemadores de elevados.

Para quemadores de fosa de piso (Ground flare), el dimensionamiento de estos se describio en el capítulo IV, sección 3, y para el diseño de quemadores de fosa tipo parrilla, su diseño se describe en el mismo capítulo, sección 4.

CAPITULO VIII

DISPERSION DE GASES TOXICOS Y CONCENTRACION PERMISIBLE A NIVEL DE PISO

VIII-1 DISPERSION DE GASES EN CHIMENEAS Y QUEMADORES

El tratar de reducir en una refinería las diferencias de gases de deshecho a una mínima cantidad por un control de procesos adecuados o por una operación de tratamiento, involucra reducirlos a subproductos por medio de un sistema de recuperación, o por conversión a una forma adecuada para descargarlos en una planta de tratamiento de efluentes.

Bajo condiciones optimas el gas de deshecho deberá ser reducido a hidrocarburos que pueden ser quemados completamente en hornos industriales o quemadores elevados, algunas veces tanto como uno y otro sistema es impráctico o innecesario para realizarlo. En cualquier caso, es importante saber las cantidades de materiales contaminantes o productos de combustión que pueden ser dispersadas desde sistemas de descarga atmosféricos o quemadores sin causar problemas de contaminación.

La dispersión satisfactoria de productos gaseosos de deshecho en la atmósfera requiere de una evaluación de los siguientes factores:

a) Reglas locales.

Algunas veces especificar la máxima concentración permisible para ciertos materiales gaseosos en sistemas de descarga atmosféricos o quemadores. En tales casos, la regla puede o no hacerse permisible para la altura de la chimenea.

b) Condiciones meteorológicas

Deberán ser estudiadas antes de la instalación de un sistema de descarga atmosférico, con especial énfasis en gradientes de temperatura y velocidades de viento. La disipación de los gases depende grandemente de la relativa estabilidad atmosférica que puede ser medida en lapsos.

Lapso, o. cambio en la temperatura en una altitud, es definida como:

$$\frac{-dT}{dz}$$

Donde:

T = Temperatura absoluta en grados Rankine °R

z = Altura en pies.

Cuando $\frac{-dT}{dz}$ es menor que, más grande que, o igual a:

$$\frac{g (C_p - C_v)}{R C_p}$$

La atmosfera será estable (temperatura de inversión), -- inestable (lapso) o neutral (adiabática).

g = Aceleración debida a la gravedad.

R = Constante del gas, 1,720 lb_f pies²/seg².

C_p = Calor específico a presión constante.

C_v = Calor específico a volumen constante.

Para propósitos prácticos el cambio de temperatura por altura, decrece en un grado Centígrado por cada 100 metros (aproximadamente en un grado Fahrenheit por cada 180 pies).

c) Topografía en la vecindad.

La topografía de la vecindad es importante donde el terreno tiende a contener los materiales contaminantes emitidos en el venteo. Los efectos de contaminación serán particularmente malos cuando las inversiones de temperatura prevalescan en el área.

VIII-2 TIPOS DE DESCARGA

El cono visible de humo en un sistema de descarga atmosférico puede ser de tres tipos y las condiciones meteorológicas determinarán cual de ellos se forma:

- a) Retornando (Looping).- Ocurre cuando la atmósfera tiene un lapso más grande que el valor adiabático. El cono de humo alternativamente asciende o desciende después de dejar la chimenea. Cuando llegue al piso, el cono permanece en contacto con el suelo por alguna distancia. Luego el cono sube, y más tarde repite su sinuoso camino. El cono también se mueve en un ancho ángulo horizontal, el cual depende de la velocidad del viento.
- b) Coneado (Coning).- Ocurre cuando el lapso es aproximadamente neutral. Se logra solamente cuando la velocidad del viento es igual o excede a 20 millas por hora. El cono tendrá forma de un cono angosto. El ángulo del cono variará de 30 a 40 grados.

- c) Soplamiento (fanning).- Ocurre cuando el lapso es menor que el valor adiabático. El cono sale en forma de un abanico de plano horizontal que gradualmente se ensancha viento abajo y tiende a atenuarse más.

El cono de un sistema de descarga atmosférico de 200-pies de altura generalmente viaja de 5 a 10 millas - antes de alcanzar el suelo.

VIII-3 DISPERSION DE GASES

La dispersión de gases contaminantes en la atmósfera puede ser estimada en una base probable. Los tres tipos de ecuaciones básicas presentadas en esta sección, son validas en el lado con--servativo, para gases contaminantes que recorren arriba del nivel ambiente.

- a) Dentro de un factor de 2 para distancias hasta 6 mi--llas.
b) Dentro de un factor de 5 para distancias más grandes.

Provisionalmente es raro en condiciones atmosféricas que pudieran causar altas concentraciones. Por esta razón el efecto - de altas concentraciones para períodos cortos deberá ser cuidado--samente evaluada, para resguardos adecuados que pueden ser toma--dos durante esos perfodos provisionales.

VIII-3-1 Ecuaciones de Dispersión.

La ecuación para calcular la concentración de gas con--taminante es:

$$C = \frac{5,024 V M}{D_y D_x x^{2-n}} e^{-\frac{y^2}{D_y^2 x^{2-n}}} \left[e^{-\frac{-(z-h)^2}{D_z^2 x^{2-n}}} e^{-\frac{-(z-h)^2}{D_z^2 x^{2-n}}} \right]$$

Donde:

C = Máxima concentración de contaminantes contenidos en una mezcla gas-aire, en partes por millón (ppm).

M = Contaminación de gas emitido, Toneladas/día.

u = Velocidad del aire a la altura Z, millas/hora.

u_i = Velocidad del aire a una altura unitaria, millas/hr.

x, y, z = Coordenadas espaciales, a la base del sistema de descarga atmosférico.

x = Distancia horizontal viento abajo del punto de emisión, en pies.

y = Distancia vertical viento cruzado del punto de emisión, en pies.

z = Distancia vertical, en pies.

h = Altura efectiva del sistema de descarga atmosférico, arriba del nivel de piso, en pies.

n = Factor involucrado entre 0 y 1, definido por:

$$u = u_i z^{\frac{n}{2-n}}$$

e = Base de logaritmos naturales.

V = Volumen de gas contaminante, en pies³/lb, definido por:

$$(1) (10.73) (Temperatura \text{ en } ^\circ R)$$

$$V = \frac{\text{Peso molecular}}{\text{Presión absoluta en Libras/pulgada}^2}$$

D_y, D_z = Coeficientes de difusión horizontal y vertical-pies^{n/2}, los valores de n pueden ser dados de acuerdo a los factores meteorológicos.

Para condiciones de lapsos grandes	$n = \frac{1}{5}$
Para condiciones neutrales	$n = \frac{1}{4}$
Para inversiones moderadas	$n = \frac{1}{3}$
Para inversiones fuertes	$n = \frac{1}{2}$

Los coeficientes D_z y D_y tomados de la tabla de Sutton-- para condiciones meteorológicas promedio son:

<u>ALTURA DEL SISTEMA DE DESCARGA A NIVEL DE PISO EN PIES LINEALES.</u>	Para $n = \frac{1}{4}$	
	D_y	D_z
0	0.24	0.14
30	0.24	0.14
75	$D_y = D_z =$	0.14
150	$D_y = D_z =$	0.12
225	$D_y = D_z =$	0.10
300	$D_y = D_z =$	0.08

De acuerdo con Sutton, estos valores pueden ser corregidos para diferentes valores de n por el uso de factores de la siguiente tabulación:

n	$\frac{D_z^2 \text{ (Para n actual)}}{D_z^2 \text{ (Para n = 1/4)}}$
1/5	3.03
1/4	1.00
1/3	0.40

1/2

0.25

VIII-3-2 Método de Bosanquet-Pearson.

Este método analítico resulta mucho más sencillo de calcular la concentración de gas contaminante.

La máxima concentración (en volumen % de aire) sucede como ya mencionamos anteriormente a una distancia x viento-abajo, y con viento atravesado a una distancia y , de una fuente de emisión efectiva a una altura h de donde los gases son emitidos con una concentración máxima, $C_{\text{máx}}$.

Las ecuaciones son las siguientes:

$$C_{\text{máx}} = 1.55 \frac{W_c}{(u) (h)^2 M_c} \frac{D_z}{D_y}$$

De otra forma, en ppm. se tiene:

$$C_{\text{máx}} = 1.55 \times 10^4 \frac{W_c}{(u) (h)^2 M_c} \frac{D_z}{D_y}$$

Donde:

W_c = Cantidad de gas contaminante, libras/hora.

$C_{\text{máx}}$ = Máxima concentración de contaminantes contenidos en una mezcla gas-aire, ppm.

M_c = Peso molecular del gas efluente.

D_z = Coeficiente de difusión vertical.

- D_y = Coeficiente de difusión horizontal.
- u = Velocidad media del viento en millas/hora.
- x = Distancia horizontal viento abajo del punto de emisión.
- y = Distancia vertical viento cruzado del punto de emisión.
- h = Altura efectiva del sistema de descarga atmosférico, arriba del nivel de piso, pies.

La altura efectiva h , es la suma de tres términos:

- Altura física del sistema de descarga atmosférico.
- Altura del cono de gas efluente o de humo causado -- por la velocidad de los gases salientes.
- Elevación del cono causado por la diferencia de densidades entre los gases de la chimenea y la atmósfera circundante.

La altura del cono h_p es dada por la siguiente ecuación:

$$h_p = 4.77 \sqrt{\frac{(Q_1) (V)}{1.5}}$$

Donde:

$$Q_1 = \frac{(Q_s) (T_1)}{530} \quad \text{y} \quad T_1 = M_c \times 18.3$$

h_p = Altura efectiva del cono debida a la velocidad del gas de salida y la diferencia del gas efluente con la atmósfera circundante.

Q_s = Volumen saliente en pies³/segundo.

Q_1 = Volumen de gas efluente en pies³/segundo.

La distancia $X_{\text{máx}}$ a la cual ocurre la máxima concentración de gas a nivel del piso es:

$$X_{\text{máx}} = \frac{h}{2}$$

$$Y = 0$$

Donde la razón $\frac{h}{2}$ es el coeficiente de difusión vertical.

Los parámetros de turbulencia para la ecuación de Bonsanquet-Pearson son:

	D_z	D_y	D_z/D_y
Baja turbulencia	0.02	0.04	0.50
Media turbulencia	0.05	0.08	0.63
Alta turbulencia	0.10	0.16	0.63

Los valores obtenidos en este cálculo nunca deberán sobrepasar los valores permitidos en tablas de concentración y en los límites de inflamabilidad.

VIII-3-3 Cálculo de la altura por concentración máxima.

La máxima concentración de gas contaminante y la distancia máxima correspondiente puede ser determinada por la diferenciación de la ecuación para la concentración máxima.

En el diseño de un quemador elevado, se debe de tomar en cuenta la suposición de que la flama sea extinguida mientras ocurre un desfogue.

Los valores máximos respectivos son dados por las siguientes ecuaciones: (Ecuación de Sutton).

$$X_{\text{máx}} = \left[\frac{h}{D_z} \right]^{\frac{z}{2-n}}$$

$$C_{\text{máx}} = \frac{3,967 (V) (M) (D_z)}{(u) (h)^2 (D_y)}$$

Donde:

$C_{\text{máx}}$ = Concentración (en ppm) máxima.

V = Volumen específico del gas tóxico, pies³/lb

M = Descarga del gas contaminante en Ton/día.

u = Velocidad media del aire, millas/hora.

h = Altura del sistema de descarga atmosférico, en pies lineales.

D_y = Coeficiente de difusión horizontal.

$X_{\text{máx}}$ = Distancia del sistema de descarga al punto de máxima concentración.

n = Factor involucrado.

VIII-3-4 Concentración por contaminación.

Usando los valores precedentes sugeridos, un valor aproximado para la concentración por contaminación a nivel de piso puede ser determinada. Si los valores necesarios son altamente precisos, los datos meteorológicos deberán ser obtenidos experimentalmente. Sin embargo, un sistema de descarga atmosférico debe de ser función bajo una extensa variedad de condiciones atmosféricas, el diseñado deberá considerar el efecto de una variación razonable en n , D_y y D_z . Los valores obtenidos para concentraciones de contaminación deberán entonces ser revisadas cuidadosamente para determinar los efectos que varias concentraciones deberán tener cercanamente a sus propiedades residentes.

VIII-3-5 Altura de un sistema de descarga atmosférico.

Las ecuaciones precedentes suponen que el sistema de descarga atmosférico, los gases son emitidos a la temperatura atmosférica. Usualmente en una chimenea o un sistema de descarga, los gases están calientes que la atmósfera circunvecina, y de este modo se elevan. Los resultados experimentales indican que cada grado Fahrenheit, por el cual los gases exceden la temperatura del aire circunvecino, es equivalente a 2.5 pies de la altura adicional de la chimenea.

Aunque es conocido que la temperaturas en la chimenea son benéficas para dispersión de gases contaminantes, el efecto exacto no es conocido con certeza. Es de recomendarse que este efecto es considerado como un factor de seguridad y despreciado en el cálculo de la altura de la chimenea, a no ser que la chimenea propuesta estará en la vecindad inmediata de otras chimeneas

que pueden ser usadas para determinar el efecto experimental mencionado.

VIII-3-6 Venteos atmosféricos.

Los venteos atmosféricos son dispositivos de desfogue usados para descargar efluentes gaseosos, sin quemarlos y que no crean una situación peligrosa al descargarlos directamente a la atmósfera.

El tamaño de venteo es determinado por la caída de presión y por la velocidad mínima requerida para la prevención de condiciones peligrosas de niveles inflamables y grados de toxicidad.

Las ecuaciones de difusión están esencialmente basadas en la suposición de que el gas al abandonar el elemento que los conduce, toman la dirección del viento y forman un cono horizontal.

En algún punto viento abajo, los gases alcanzan a tocar el suelo y de ahí, son rebotados. El punto de concentración máxima de gases es algún punto viento abajo con respecto al punto en que el cono alcanza el suelo.

Para venteos atmosféricos tenemos las siguientes ecuaciones:

$$C_{\text{máx}} = \frac{(0.0157) (W)}{(V) (h)^2} ; \text{ Para Anhídrido Sulfuroso.}$$

$$C_{\text{máx}} = \frac{W}{(V) (h)^2 M} ; \text{ Para cualquier tipo de gas.}$$

En donde:

- $C_{\text{máx}}$ = Concentración máxima en porciento de volúmen
 W = Cantidad de gas desfogada en libras/hora.
 V = Velocidad del viento en millas/hora.
 h = Altura del venteo en pies lineales.
 M = Peso molecular del gas efluente.

Para tomar la altura efectiva de emisión debe de tenerse en cuenta la velocidad de salida de los gases del venteo.

Conforme mayor sea la velocidad crecerá también la tendencia a formar un cono vertical invertido durante alguna distancia, y después se tomará la forma de un cono horizontal.

De acuerdo a lo anterior, la altura efectiva de emisión será la altura de la chimenea o punto de salida más una distancia de 100 diámetros referidos al tubo de salida.

Una velocidad de salida de 500 pies/segundo como mínimo, creará una excelente dispersión. El diámetro deberá ser chequeado para no sobrepasar la velocidad sónica.

El área de un tubo de venteo es dada por la siguiente relación:

$$A = \frac{W}{3,600 \rho_g V}$$

Donde:

A = Area del tubo del venteo.

W = Cantidad desfogada de gas en libras/hora.

ρ_g = Densidad del gas a desfogar.

V = Velocidad mínima de 500 pies/seg., para el gas venteado.

La altura del venteo puede ser seleccionada tal que la concentración del gas en su punto en particular deberá ser menor que el límite de inflamabilidad.

Un valor aceptable de concentración es de 0.1 a 0.5 veces el límite de inflamabilidad.

Otro factor que debe de tomarse en cuenta en la altura de un venteo es la intensidad de calor radiada en caso de que pueda prenderse la descarga. Este método se ilustra en la descripción de los quemadores elevados.

En cualquier caso, en una instalación de un sistema de venteo, debe de tomarse cuidadosa atención en dos problemas potenciales:

- a) Acumulación de líquidos en la línea de condensación de los vapores, esto podrá prevenirse mediante la instalación de sellos y trampas de líquidos
- b) La posibilidad de que la descarga pueda prenderse accidentalmente. La instalación de sellos de agua o de corrientes de gas de ayuda podrán prevenir el retroceso de flama originado al minimizarse el flujo de gas venteado.

VIII-3-7 Efecto de las variables meteorológicas.

El siguiente ejemplo ilustra el efecto de las variables meteorológicas.

Se esta descargando de un sistema atmosférico 3 ton/día de anhídrido sulfuroso, la altura del sistema de descarga es de 150 pies, el factor involucrado n y el coeficiente de difusión vertical D_z son elegidos para condiciones de lapsos grandes para condiciones neutrales y para inversiones fuertes, la velocidad del viento es de 5 millas/hora, aunque esta velocidad no es constante para los tres casos, el sistema de descarga esta al nivel del mar y la temperatura atmosférica alrededor del sistema de descarga es de 70°F.

- a) Calcular el volumen del gas, V
- b) Calcular la concentración máxima, $C_{m\acute{a}x}$
- c) Calcular la distancia horizontal viento abajo del punto de emisi3n.

El procedimiento dado para el cálculo de la concentración máxima en la subsección de Venteos Atmosféricos, no se aplica en este caso.

- a) Cálculo del volumen de gas.

$$V = \frac{(1) (10.73) (460 + 70^\circ\text{F})}{(64.06 \text{ lb/lb mol}) (14.7 \text{ lb/in}^2)} = 6.05 \text{ pie}^3/\text{libra}$$

- b) Cálculo de la concentración máxima, la cual deberá ser vista independientemente de n y D_z/D_y , el valor es:

$$C_{m\acute{a}x} = \frac{(3,967) (6.05) (3)}{(5) (22,500)} = 0.6 \text{ ppm}$$

- c) Cálculo de la distancia del sistema de descarga al punto de máxima concentración, los valores para el factor involucrado son $n = 1/5, 1/4$ y $1/2$.

Donde z , tiene el valor de 2.5 pies de la altura de la chimenea, considerando que los gases están más calientes que la atmósfera que rodea al sistema.

Calculando la relación $\frac{z}{2 - n}$, así como, también el coeficiente de difusión vertical para los diferentes valores del factor involucrado n , por lo tanto tenemos:

$$n = \frac{1}{5} ; \quad X_{\text{máx}} = \left[\frac{150}{0.209} \right]^{1.11} = 1,470 \text{ pies.}$$

$$n = \frac{1}{4} ; \quad X_{\text{máx}} = \left[\frac{150}{0.12} \right]^{1.14} = 3,400 \text{ pies.}$$

$$n = \frac{1}{2} ; \quad X_{\text{máx}} = \left[\frac{150}{0.06} \right]^{1.33} = 33,900 \text{ pies.}$$

Los valores calculados en estas ecuaciones, para inversiones fuertes indican que $X_{\text{máx}}$ es varias millas distante, debiendo ser interpretada en la posición de una variación considerable en valores sustituidos en la ecuación.

VIII-4 CONTAMINACION DE EFLUENTES PRODUCIDOS POR QUEMADORES ELEVADOS DE CHIMENEA

Los cálculos para determinar la altura de una chimenea dentro de un sistema expulsor de gases, debe tomar en consideración el aspecto de contaminación por materiales tóxicos o nocivos producidos por efluentes, a la vez que los efectos de la radiación de calor.

Hay mucha literatura en torno a estos puntos básicos, - sin embargo está impregnada frecuentemente por hipótesis o fórmulas matemáticas, no apoyadas por la experiencia práctica.

Las soluciones gráficas sencillas generalmente son aquí latadas por ingenieros que están apurados por el tiempo por lo - que en esta sección se reproducen algunas cifras adecuadas tendientes a establecer relaciones de trabajo y ahorro de tiempo.

Las leyes básicas sobre la conducta de los gases que se descargan a la atmósfera, se refieren a la flotación de los gases, su velocidad de descarga bajo condiciones ideales y su dispersión subsiguiente en la atmósfera circundante.

Para las aplicaciones prácticas hay varias modificaciones en las fórmulas que consideran: Efectos del viento, cambios en las condiciones climáticas y la influencia de características topográficas.

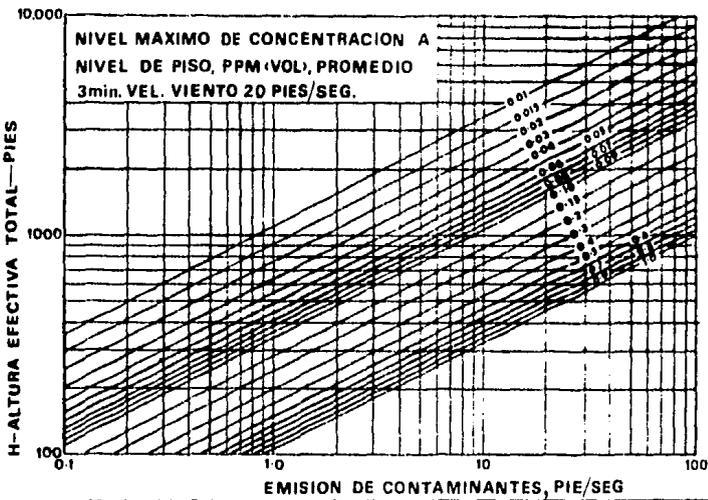
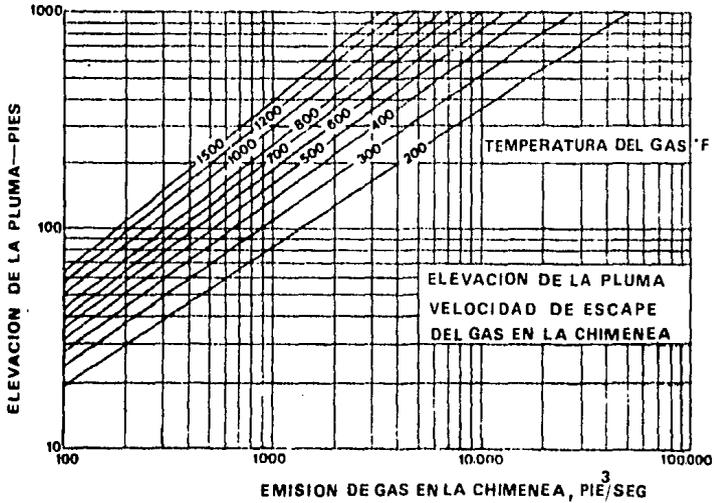
Para la expulsión y quema de material tóxico, se debe tener un enfoque algo diferente para calcular la altura de la chimenea en comparación con el factor de radiación de calor. Aunque el material puede ser completamente combustible y formar productos inócuos, hay que dejar cierta holgura para una combustión incompleta posible en la flama de expulsión. Hay que suponer que tal vez hasta un 5 % de combustión se va escapando cuando el gas al final de la flama se vuelve demasiado delgado para quemarse - y que esta cantidad de gas se debe de diluir suficientemente por el aire para que su concentración máxima al nivel del piso nunca sobrepase el límite aceptable. Así por ejemplo el cianuro de hidrógeno comunmente lo encontramos en los procesos de acrilonitrilo. La concentración al nivel de piso de este gas jamás deberá ser mayor de 1.0 parte por millón. Para asegurar que se cumpla con este requisito, es necesario considerar la altura a que de -

ben llegar los gases calientes de la flama para permitir la dispersión de cianuro de hidrógeno en la atmósfera a raíz de los procesos normales de difusión y mezcla turbulenta.

Dentro del volumen considerable de literatura de la cual se dispone para determinar el crecimiento de la pluma de humo y la dispersión de los gases del humero emitidos por chimeneas, poco se ha hecho para investigar estos procesos aplicados a chimeneas de quemado. Un número de autoridades ha sugerido que se pueden aplicar las mismas reglas considerando la emisión como gases de humero que contiene la misma cantidad de calor derivada de la combustión. Pero puesto que la combustión no es instantánea sino que procede a lo largo de toda la extensión de la flama, hay que modificar en forma estricta el concepto de una columna flotante de gases de humero que penetran directamente hacia arriba y en la atmósfera, a aquel de una pluma que se extiende por unos 120 diámetros desde la boquilla del quemador. Que tanto este mecanismo real de combustión retardada difiere de la combustión instantánea teórica, solamente se puede establecer mediante pruebas con muestras, como fotografía infrarroja y técnicas similares.

Las fig. Nos. VIII-1 y VIII-2 son producidas básicamente para cálculos de chimenea pero también pueden adaptarse para usarse con quemado de gases para proporcionar una estimación de la Contaminación a Nivel de Piso (Ground Level Concentration g.l,c).

La fig. No. VIII-1 indica la elevación de la pluma de la columna de gas caliente para varias temperaturas de gas en la chimenea. Puesto que para una liberación determinada de calor, la temperatura de los gases de escape se encuentra relacionada estrechamente con la tasa de flujo de gas, es posible regresar trabajando a través de supuestas cifras de aire en exceso y de



**ELEVACION DE LA PLUMA
ALTURA EFECTIVA TOTAL**

REF. No. 13

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

Dir: JESUS SOLIS G. V. B. CARITINO MORENO

Esc:

FISICA, VO. VIII-1/VIII-2

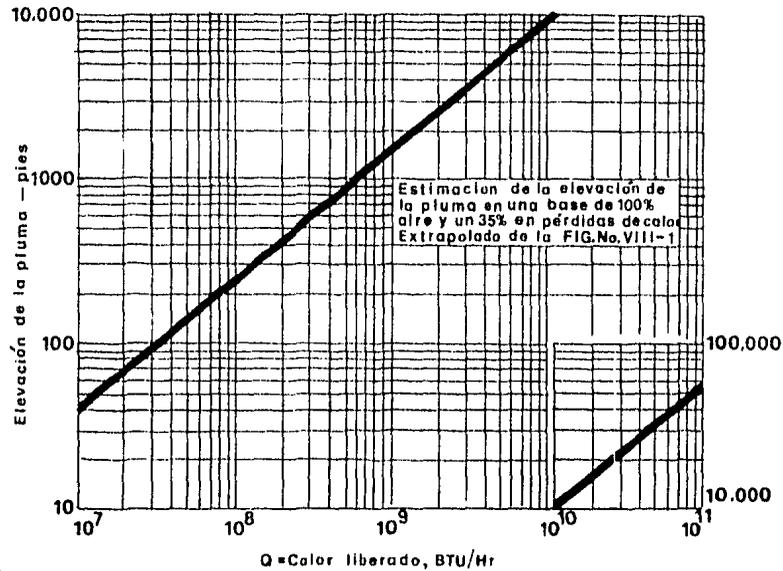
FECHA: ENE-84

terminar así una tasa teórica para el gas y una temperatura para cualquier liberación de calor. Tomando un exceso de aire de 100 % y permitiendo hasta un 35 % de pérdidas de calor por radiación, podemos llegar a una temperatura del gas a 1,500°F. Ya que la elevación de la pluma depende más bien del total del calor en vez de la temperatura y tasa reales, el error involucrado es pequeño en este cálculo. Sobre esta base permite la construcción de la fig. No. VIII-3 que da la elevación de la pluma.

Hay que notar que la fig. No. VIII-3 da una estimación conservadora de la elevación de la pluma en consideración con otras autoridades que utilizan una base similar y por lo tanto es razonable. Hay que notar que la extra-polación hasta de 100,000 pies de elevación de pluma, evidentemente no considera mayores cambios en la condición atmosférica.

Por lo tanto parecería que se puede hacer una estimación razonable de la altura efectiva de la elevación de la pluma y la dispersión subsiguiente del contaminante calculada. La altura de la chimenea a partir de estos cálculos debe de proveer una solución razonable para el problema de contaminación, puesto que hay que recordar, que la frecuencia de emisión por lo general es crecientemente más pequeña en comparación con el efluente constante de una chimenea.

La tabla No. VIII-1 fué tomada del manual AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, para la disposición de desperdicios en refinerías, la tabla menciona los límites para muchas substancias tóxicas que pueden encontrarse en plantas petroquímicas. La altura de la chimena se calcula sobre una base del (g.l.c.) alrededor de 10 % de estos valores medidos en un intervalo corto. El 10 % da un margen razonable en términos de límites puesto que se basan en la exposición prolongada, que por lo general no prevalece en el caso de expulsión elevada de gases de desperdicio.



**ESTIMACION CONSERVADORA
DE ELEVACION DE PLUMA**

REF. No. 13

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

D/BI: JESUS SOLIS G. Va. de: CARITINO MORENO

ESC:  FIGURA No. VIII-3 FECHA ENE-84

LIMITES DEL UMBRAL PARA CIERTAS SUBSTANCIAS
DE GASES Y VAPORES TOXICOS

295

Gas or Vapour	PPM*	Gas or Vapour	PPM*
Acetaldehyde	.200	Hydrogen selenide	0.05
Acetic acid	.10	Hydrogen Sulfide	.20
Acetic anhydride	.5	Isodine	0.1
Acetone	1,000	Isophorone	.25
Acrolein	0.5	Isopropylamine	.5
Acrylonitrile	.20	Mesityl oxide	.50
Ammonia	.100	Methyl acetate	.200
Amyl acetate	.200	Methyl acetylene	1,000
Amyl alcohol	.100	Methyl alcohol	.200
Aniline	.5	Methyl bromide	.20
Arsinc	0.05	2-Methoxyethanol	.25
Benzene	.35	Methyl chloride	.100
Benzyl chloride	.1	Methylcyclohexane	.500
Bromide	.1	Methylcyclohexanol	.100
Butadiene	1,000	Methylcyclohexanone	.100
Butyl alcohol	.100	Methyl formate	.100
Butylamine	.5	Methyl amyl alcohol	.25
Carbon Dioxide	5,000	Methylene chloride	
Carbon disulfide	.20	(dichloromethane)	.500
Carbon Monoxide	.100	Naptha (coal tar)	.200
Carbon tetrachloride	.25	Naptha (petroleum)	.500
Chlorine	.1	pNitroaniline	.1
Chlorobenzene	.75	Nickel carbonyl	0.001
Chloroform	.100	Nitrobenzene	.1
Cresol (all isomers)	.5	Nitroethane	.100
Cyclohexane	.400	Nitrogen dioxide	.5
Cyclohexanol	.100	Nitromethane	.100
Cyclohexanone	.100	Nitrotoluene	.5
Cyclohexene	.400	Octane	.500
Cyclopropane	.400	Ozone	0.1
Diacetone alcohol	.50	Pentane	1,000
O-Dichlorobenzene	.50	Propyl Ketone	.200
1, 1-Dichloroethane	.100	Phenol	.5
Diethylamine	.25	Phenylhydrazine	.5
Diisobutyl ketone	.50	Phosgene (carbonyl chloride)	.1
Dimethylaniline	.5	Phosphine	0.05
Dimethylsulfate	.1	Phosphorus trichloride	0.5
Diethylene Dioxide	.100	Propyl acetate	.200
Ethyl acetate	.400	Propyl alcohol	.400
Ethyl alcohol (ethanol)	1,000	Propyl ether	.500
Ethylamine	.25	Propylene dichloride	.75
Ethylbenzene	.200	Pyridine	.10
Ethyl bromide	.200	Quinone	0.1
Ethyl chloride	1,000	Stibine	0.1
Ethyl ether	.400	Styrene	.200
Ethylene chlorohydrin	.5	Sulphur dioxide	.10
Ethylenediamine	.10	Sulphur hexafluoride	1,000
Ethylene dibromide	.25	Sulphur monochloride	.1
Ethylene dichloride	.100	Sulphur pentafluoride	0.025
Ethylene oxide	.100	1,1,2,2-Tetrachloroethane	.5
Fluorine	0.1	Tetranitromethane	.1
Formaldehyde	.5	Toluene (toluol)	.200
Gasoline	.500	o-Toluidine	.5
Hydrazine	.1	Trichloroethylene	.200
Hydrogen bromide	.5	Trichloroethane	.500
Hydrogen chloride	.5	Turpentine	.100
Hydrogen cyanide	.10	Vinyl chloride	.500
Hydrogen fluoride	.3	Xylene (xylo)	.200
Hydrogen peroxide 90%	1		

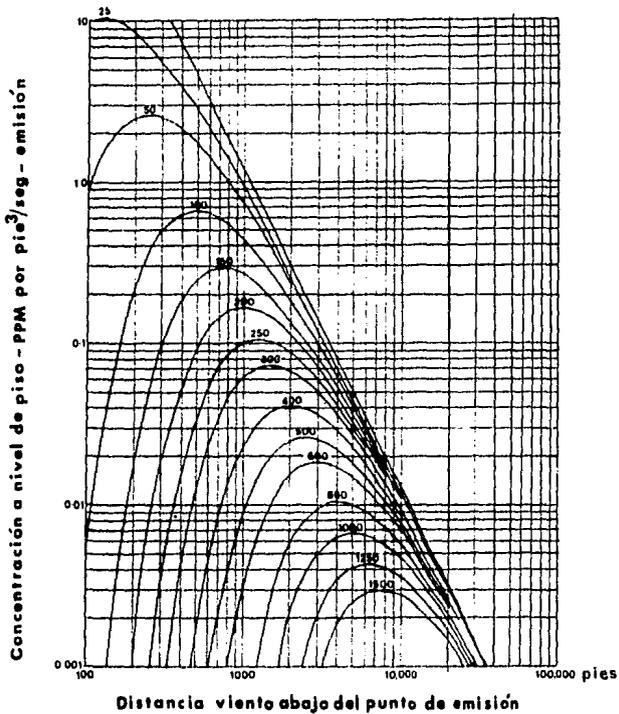
La base de tiempo utilizada para los datos proporcionados en las curvas anteriores es de 3 minutos. Esto es porque, -- las variaciones en el viento dan fluctuaciones amplias sobre un período más largo y los analistas comerciales no darían resultados representativos con un período más corto. En la Gran Bretaña el uso de un período de 3 minutos es común, pero es importante recordar al hacer los cálculos que otras partes de Europa y América del Norte, es más normal un tiempo de 30 minutos. Siempre hay que dar la base de tiempo con el cálculo del g.l.c., y los datos publicados establecieron una relación aproximada entre las cifras del g.l.c. en promedio, entre 3 minutos y 30 minutos, como de 1.5 a 1.

Obviamente los contaminantes caen sobre el lado de la cola de viento o viento descendente de la chimenea. Un típico -- gradiente de viento descendente de g.l.c. se ilustra en la fig. No. VIII-4, basado en fórmulas frecuentemente aceptadas que colocan al punto de g.l.c. máximo a 5 veces la altura efectiva total de la pluma. La velocidad del viento involucrada en este cálculo es de 20 pies/seg. que corresponde aproximadamente al promedio. -- en Inglaterra y probablemente también a la cifra que de hecho -- produce las máximas concentraciones a nivel de piso.

Nótese que la base de tiempo para esta curva es un promedio de 30 minutos en tanto que las cifras anteriores tienen -- una base de 3 minutos, sin embargo, esto sirve para ilustrar la -- tendencia.

Ocasionalmente se planean instalaciones de chimeneas -- múltiples, que todos pueden quemar simultáneamente. Varias autoridades han demostrado que para chimeneas adyacentes bajo condiciones neutrales, no puede reclamarse ningún aumento en los -- ascensos de las plumas individuales y que el efecto total, y final de viento descendente debe ser la suma aritmética del g.l.c.

Contaminación a nivel de piso (promedio de 30 min)
 cada curva se relaciona con la altura efectiva de
 emisión de efluentes en pies lineales a una
 velocidad de 20 pies/seg.



**GRADIENTES DE VIENTO DESCENDENTE
 DE g.l.c. (CONTAMINACION A NIVEL
 DE PISO)
 REF. No.13**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vo.Bo. CARITINO MORENO

Esc:

FIGURA No. VIII-4

FECHA: ENE-84

de cada chimenea contaminante. Sin embargo, es razonable suponer que cuando dos chimeneas de quemado se encuentran lo suficientemente cercanas para llamas que sufran una coalescencia, entonces se puede calcular el ascenso de la pluma a partir de la liberación de calor combinada con la flama resultante.

Ocurre muy raras veces que toda la tasa de quemado consta de material tóxico exclusivamente, y esto se basa frecuentemente en el hecho poco probable de un fuego presente por debajo de un recipiente de almacenamiento que contiene el material. Generalmente la sustancia tóxica está presente en proporciones relativamente bajas con un hidrocarburo formando el grueso principal de la descarga. El análisis por el Ingeniero de Proceso es crítico para fijar los parámetros correctos para el cálculo de g.l.c.. Cuando se queman materiales tóxicos no siempre basta cotizar únicamente los caudales máximos de todos los materiales como es requerido para el dimensionamiento básico de la flama, sino también, que debe aislarse aquella condición que causa la máxima concentración de materiales tóxicos con el caso de liberación térmica mínima. El examen de unos cuantos casos demostrará pronto cual gobierna para producir el máximo nivel g.l.c.

Estas estimaciones de quemado se provocan habitualmente por sobrepresión en recipientes de proceso iniciados por una falla eléctrica o en el agua de enfriamiento. Muchas veces ocurre que el contenido en hidrocarburos requiere que una chimenea alta satisfaga las consideraciones relativas a intensidad de calor, satisfaciéndose al mismo tiempo los requisitos de g.l.c.

Al calcular la altura de la chimenea para la quema de gases no tóxicos, la mayor consideración es el bienestar del personal que probablemente estaría expuesto a los altos niveles de radiación térmica. También puede haber un riesgo de daños causados al equipo, aunque el equipo por lo general puede tolerar ni-

veles mucho mayores.

La intensidad de radiación térmica de cualquier distancia de la flama, se calcula por la ley del cuadrado del inverso, suponiendo una radiación igual en una esfera desde la flama.

$$K \text{ (Intensidad)} = \frac{Q \text{ (Liberación Térmica)} \times \epsilon \text{ (Emisividad)}}{4 \pi X^2}$$

En esta ecuación X es la distancia del centro aparente de la fuente emisora (la flama) a la posición del observador. La liberación de calor Q se puede calcular sin problemas, o para la mayor parte de los hidrocarburos se puede estimar tomando un valor calorífico de 20,000 BTU/libra o bien 11,000 Kcal/Kg.

La emisividad ϵ es la fracción de calor total que aparece como radiación, descrita en el capítulo VI-4. En tanto que -- las cifras teóricas para el calor radiado pueden ser bastante altas, en algunos casos hasta de un 35 %, por lo general son mucho menores los valores prácticos determinados en el campo.

Estos valores menores se pueden atribuir a un número de factores a saber:

- a) El grado de combustión que es incompleto en una llama de gas crudo.
- b) La presencia de carbón libre que puede aumentar la luminosidad y emisividad o más significativamente -- puede producir humo negro que bloquea la radiación de la flama. Además, cada libra de carbón libre sin quemar representa una reducción de 14,000 BTU, sobre el total de calor, Q.

- c) La emisividad aparente disminuye con la distancia puesto que, cierto calor radiado es absorbido tan to para los gases quemados que abandonan la flama como por las capas de aire entre la flama y el -- punto de medición.
- d) Con el uso de boquillas sin humo, la inyección de vapor reduce el alto grado de emisividad. Esto se ilustra en la Tabla No. VIII-2 se puede ver que - el valor de ϵ disminuye cuando aumenta la proporción de vapor e hidrocarburos. La relación básica real del vapor a los hidrocarburos, el quemado -- sin humo, depende de la composición del gas.

Existe una relación obvia entre los valores prácti-- cos de ϵ y el método usado para la determinación, y así, los resultados indicados o tomados como base en las figuras se de terminaron utilizando ecuaciones y la relación mostrada.

La tabla No. VIII-2, caso 6, sin vapor es la más im-- portante puesto que este sistema se aproxima a la condición - de la flama con carga máxima y la emisividad aparente es típi ca de otros datos en el campo, en el sentido de que no rebasa el 15 % de la liberación térmica total.

Para calcular X en la ecuación anterior, es necesari-- o determinar la posición de la fuente emisora de calor apa-- rente. El método usado y demostrado en la fig. No. VIII-5 y - VIII-6 se basa en una estimación de L, el largo de la flama.- Esto se determina básicamente como 120 veces el diámetro supe-- rior D, una relación que se ha tomado en los datos de pruebas respecto a la descarga de los vapores de los hidrocarburos al aire, y en que se encontró, que 120 D, representaba el margen con que la mezcla de aire e hidrocarburos caía por debajo del

TABLA No. VIII-2

PRUEBAS DE EMISIVIDAD--EN UN PROTOTIPO DE BOQUILLA DE UN QUEMADOR ELEVADO SIN HUMO DE 24 PULGADAS DE DIAMETRO CON UNA SERIE DE BOQUILLAS COANDA A SU ALREDEDOR.

ICI WILTON FLAREGAS LIMITED

CASO No.	PROPILENO lb/hr	VAPOR lb/hr	VAPOR/HCM	EMISIVIDAD
1	45,600	17,900	0.39	0.100
2	36,200	16,700	0.46	0.078
3	25,500	12,500	0.49	0.074
4	16,800	7,150	0.42	0.106
5	10,300	3,270	0.32	0.115
6	10,300	--	--	0.135
7	10,300	15,000	1.45	0.067

EL FACTOR ϵ DISMINUYE A MEDIDA QUE AUMENTA LA PROPORCION DE -- VAPOR/HIDROCARBUROS, EN EL CASO No. 7 LA FLAMA, CASI TRANSPARENTE, ES CARACTERISTICA DE FLAMAS TOTALMENTE INSPIRADAS EN -- LAS ϵ DE CO_2 Y H_2O SON LOS UNICOS ELEMENTOS QUE CONTRIBUYEN A-- LA EMISIVIDAD TOTAL.

límite inferior de inflamabilidad, y que por lo tanto, no se po
día quemar.

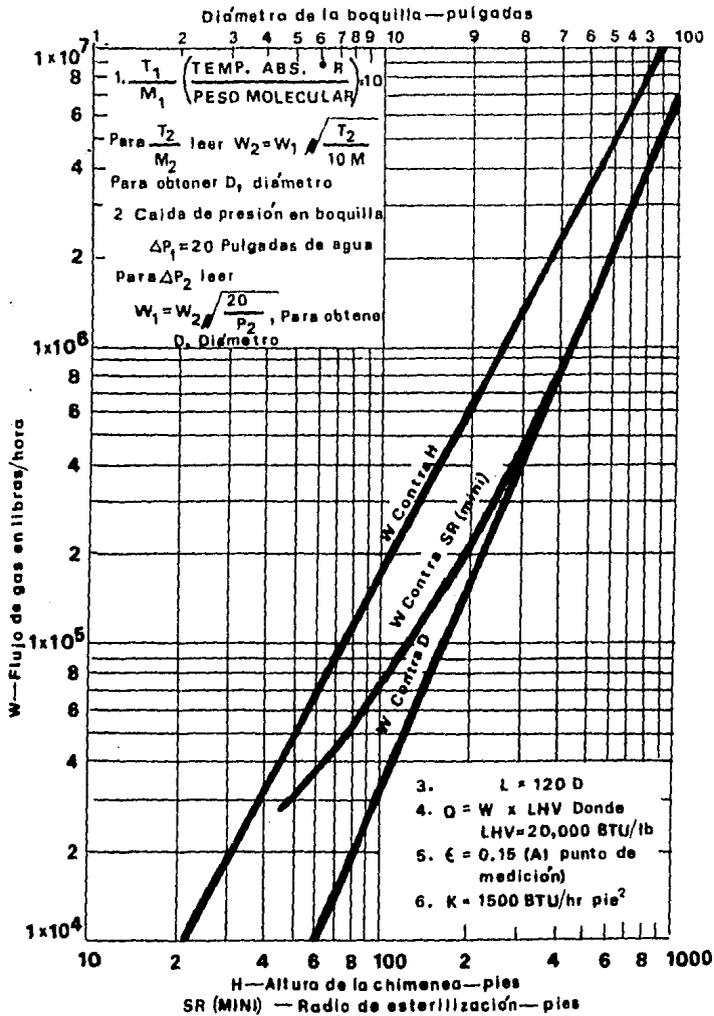
Las diferentes relaciones entre QXL & D, se pueden pue
den proyectar en forma aproximada (Fig. No. VIII-5 y VIII-6), -
para proveer una guía rápida para estimar los diámetros, las al
turas, etc.

Las bases de cálculos se ilustran en las figuras con--
juntamente con la tolerancia para una flama delgada causada por
el viento. Hay que recordar que estas curvas son de una necesi--
dad solamente aproximada, y que todas están basadas en las supo
siciones mencionadas que crean una situación de margen mediano.

Hay que notar que la altura de chimenea H, está basada
en la intensidad térmica aceptable de 1,500 BTU/Hr pie², esta--
intensidad solamente dañará al personal, si la piel está expues
ta por unos cuantos segundos de tiempo. La mayor parte de los -
empleados de refinerías, están vestidos en forma completa al de
dicarse a sus obligaciones. Pero en caso de que tuvieran la ma--
la suerte de estar en la cercanía durante una carga mayor, e---
llos por acción de reflejo se voltearán, y se moverán con toda--
seguridad en la dirección opuesta a la fuente emisora.

Si hay disponibilidad suficiente de piso de desperdi--
cio, como por ejemplo, en lugares desérticos, se puede aprove--
char el empleo de un diseño muy económico de chimenea que se co
noce con el nombre de "mini-chimenea" (mini-stack). Este diseño
produce 1,500 BTU/Hr pie², con un radio designado como "Esteri--
lización" SR (mini) en la fig. No. VIII-5.

Todas las gráficas reproducidas en esta sección, tie--
nen por objeto ayudar a ingenieros para los cálculos en aproxi--



GRAFICA PARA CALCULAR EL RADIO DE ESTERILIZACION

REF. No.13

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

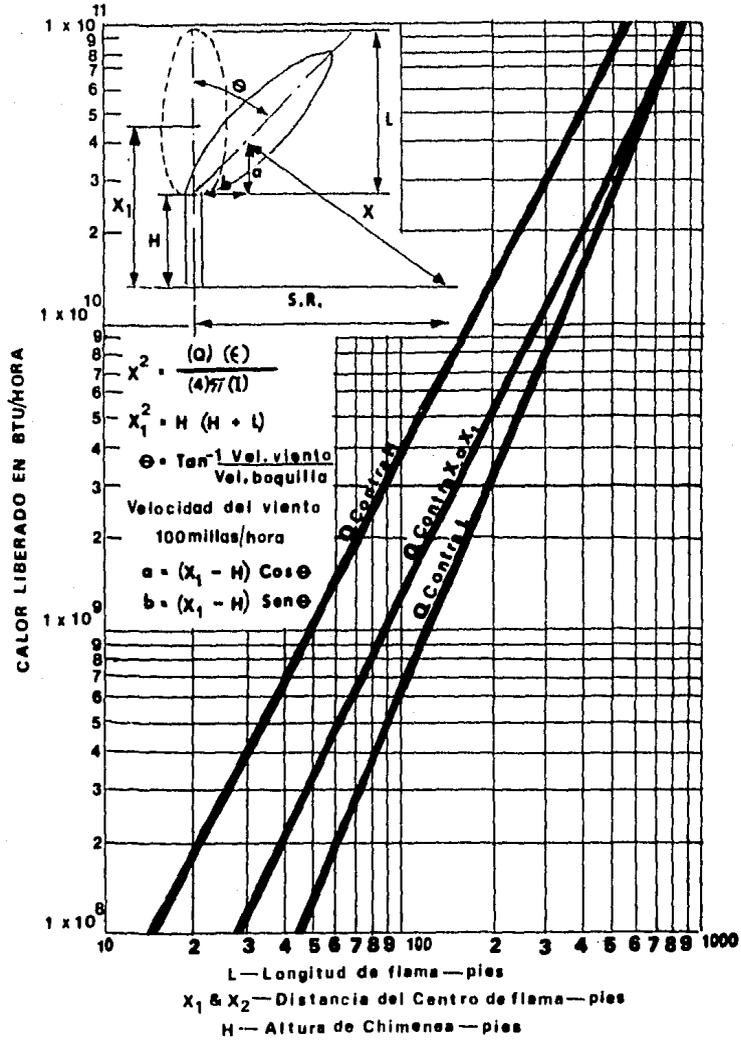
TESIS PROFESIONAL

DIB: JESUS SOLIS G. Vc. No. CARITINO MORENO

Esc.

FIGURA No. VIII-5

FECHA: ENE-84



GRAFICA PARA CALCULAR QXL & D

REF. No.13

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

FVB: JESUS SOLIS G. Vo. Sec. CARITINO MORENO

ESC. *[Signature]* FIGURA No. VIII-6 FECHA: ENE-84

maciones de niveles de contaminación y alturas aceptables de los quemadores de gases de deshecho a fin de cumplir con los más estrictos requisitos en materia de contaminación.

CAPITULO IX

UNIDAD DE ENCENDIDO REMOTO CON OPERACION MANUAL, SEMIAUTOMATICA Y AUTOMATICA

IX-1 INSTRUMENTACION

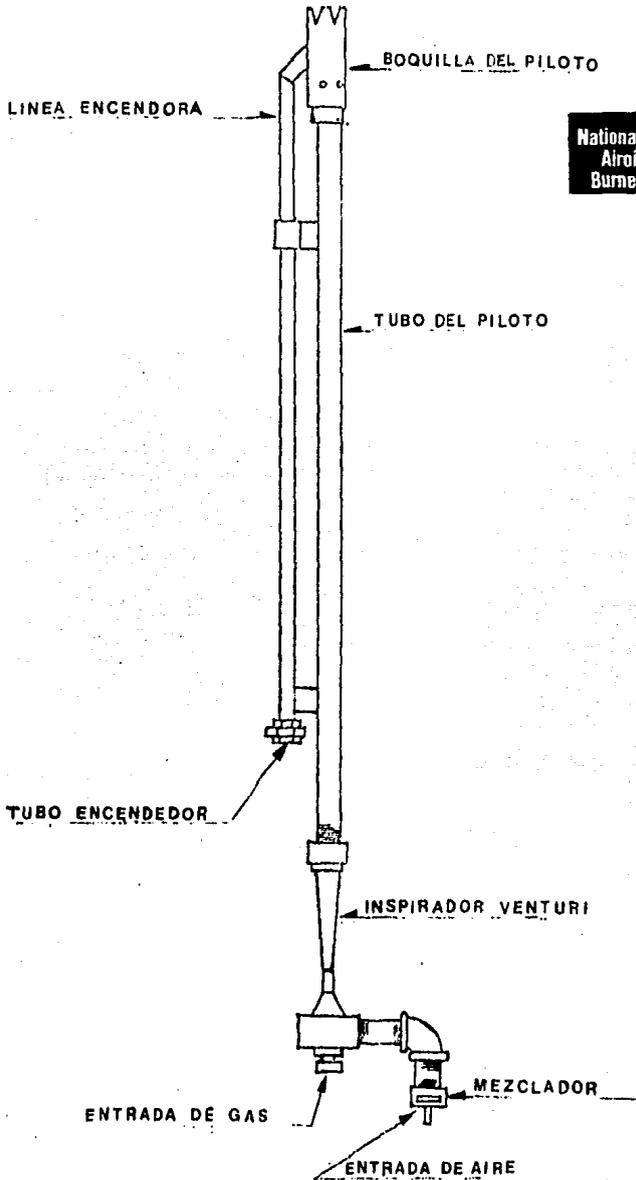
El sistema de ignición es la parte esencial en los sistemas de desfogue, este deberá ser un sistema de instrumentación muy completo para el encendido de los pilotos en las boquillas de los quemadores.

La acción de encendido se lleva a cabo por la unidad de encendido remoto, denominado "Generador de frente de flama". Estos sistemas son operados de tres maneras: Operación manual, semiautomática y automática, su operación dependerá mucho -- del número de pilotos a encender y del tipo de quemador.

Para quemadores elevados y/o fosas, el sistema de ignición completo se compone de los siguientes accesorios:

- Boquilla del piloto
- Boquilla del encendedor
- Tubo del piloto
- Tubo del encendedor
- Inspirador venturi
- Mezclador
- Termocople grado "K" (Chromel-Alumel)
- Bujía de encendido
- Transformador eléctrico
- Generador de flama

El arreglo general del conjunto de pilotos se describe en la fig. No. IX-1.



Arreglo general de un piloto para el encendido de los quemadores

REF. No. 16

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

DIB. JESUS SOLIS G. Vn. 80 CARITINO MORENO

ESC.

FIGURA No. IX-1

FECHA: ENE-84

El generador de flama automático es el más completo, tal como se ilustra en la fig. No. IX-2, y se compone de los siguientes instrumentos:

Para la línea de aire comprimido tenemos:

UNA (1) Válvula del tipo Shut off
 UNA (1) Válvula de presión
 UN (1) Manómetro de presión (0 a 30 lbs/pulgada²)
 UNA (1) Válvula de retención (Check)

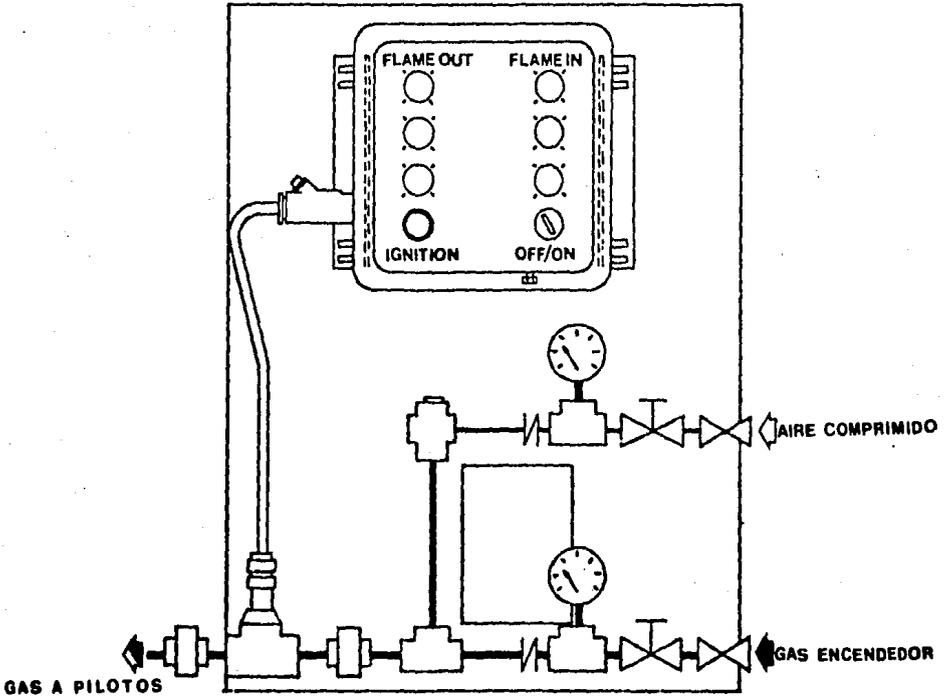
Para la línea de gas de encendido tenemos:

UNA (1) Válvula del tipo Shut off
 UNA (1) Válvula de presión
 UN (1) Manómetro de presión (0 a 30 lbs/pulgada²)
 UNA (1) Válvula de retención (Check)

Ambas líneas deberán contar con su tubería necesaria, sus correspondientes conexiones como tuercas unión, reducciones y conexiones "T".

Una vez que las dos líneas son conectadas por medio de una conexión "T", el gas de encendido y el aire comprimido se mezcla en una cámara de ignición, donde la inspección se hace por medio de una mirilla, y son enviados directamente a una línea que une al tablero por alarma de falla de flama, que se encuentra en el mismo panel generador. Este tablero consiste de una unidad de indicación compuesta por el "status" de luces indicadoras de encendido y apagado, las luces rojas, para falla de flama, verdes en posición normal de operación e incluye su selector y el interruptor de temperatura.

La válvula de 3-vías es para distribuir la mezcla de gas - aire a los pilotos, una válvula de 3-vías es suficiente



UNIDAD DE ENCENDIDO REMOTO PARA
LA IGNICION DE LOS PILOTOS

REF. No.11

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

Dib. JESUS SOLIS G. Vo. Do CARITINO MORENO

Esc:  Figura No. IX-2 Fecha: ENE-84

para distribuir la mezcla de gas-aire a cinco pilotos en un sistema de quemadores.

Los instrumentos del tipo eléctrico en el panel -- generador, consisten de la unidad eléctrica de potencia, que es necesaria para la operación de la unidad de alarma por falla de flama y provocar la chispa de ignición por medio del transformador en la bujía.

El panel generador deberá ser construido de acuerdo al NEMA IV y NEMA VII, (NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURER ASSOCIATION); NEMA IV a prueba de intemperie y VII a prueba de explosión. El panel con estas características es adecuado para operar en una área peligrosa Clase I, División I, Grupo D.

El código nacional eléctrico define en el artículo 500, el criterio de clasificación de las diferentes áreas en donde se van a instalar los equipos.

El código esta también publicado por la "NATIONAL-FIRE PROTECTION ASSOCIATION" (NFPA), en su norma NFPA-70.

Las áreas peligrosas quedan definidas por tres conceptos básicos que son los siguientes:

CLASE: Que indica, en forma general, el tipo de la atmósfera.

DIVISION: Define el grado de peligrosidad.

GRUPO: Define el material.

De esta manera, especificando la clase, la división y el grupo de una área específica cualquiera, se determinan los requerimientos del tipo de Instrumentación Industrial de los equipos y su instalación.

Como esta norma ha sido ampliamente aceptada en los Estados Unidos, la "INSTRUMENTS SOCIETY AMERICAN (I.S.A.)- ha seguido sus recomendaciones.

Para el caso de la Clase I, División I y Grupo D, se define de la siguiente manera:

CLASE I

Son aquellas áreas donde pueden estar presentes gases o vapores combustibles, que en cantidades suficientes, -- pueden mezclarse con el aire y producir una mezcla explosiva o inflamable.

DIVISION I

Es aquella área en que la probabilidad de una atmósfera explosiva es alta, de acuerdo a las normas establecidas cuando:

- a) Existen concentraciones peligrosas continuamente, intermitentemente o periódicamente, bajo condiciones normales de operación.
- b) Existen concentraciones peligrosas frecuentemente, debido a operaciones de mantenimiento o reparación, o ruptura de equipo.
- c) Por descompostura de equipo o falla en el proceso, se producen concentraciones peligrosas de vapor, gas, o polvo inflamable, existiendo fallas en el equipo eléctrico.

GRUPO D

Son atmósferas que contienen gasolina, hexano, nafta, bencina, butano, propano, alcohol, acetona, bencol, vapores de solvente para lacas, gas natural, acrilonitrilo, dicloru

-ro de etileno, propileno, estireno, acetato de vinilo, cloruro de vinilo y para-xileno.

La clasificación esta basada en el criterio dado para cada grupo en el boletín de investigación No. 58 de la "UNDERWRITERS LABORATORIES" (UL). Existen materiales aún no clasificados o que presentan problemas de clasificación, como es el disulfuro de carbono.

Para los instrumentos en el panel generador, los manómetros de presión deberán tener una precisión de $\pm 5\%$ para el trabajo pesado. El rango de los manómetros de presión deberá ser 2 veces la presión de trabajo normal.

El manómetro que da la señal de flujo de proceso (gas natural o gas L.P.), deberá de incluir amortiguadores de impulsación.

IX-2 OPERACION

Hecha la mezcla gas-aire en la cámara de ignición, en la que la chispa necesaria la da la bujía excitada por el transformador eléctrico, es encendida y en un instante de tiempo viaja a través de la tubería de ignición hasta los pilotos del quemador, a una velocidad de 88 pies/segundo.

Un piloto debe ser capaz de dar flama constante a pesar de las condiciones atmosféricas más adversas.

El gas necesario para la flama varía con el efecto del viento, pudiendo variar por ejemplo, de 100 pies³/hora-estandard con bajo viento a 200 pies³/hora estandard para viento fuerte.

El termocople se usa con la finalidad de monito--

rear la temperatura de la flama, controlada por el interruptor de temperatura en el generador, por medio de la alarma de falla de flama.

En la fig. No. IX-1 se muestra el piloto tipo y consiste de lo siguiente:

- a) Boquilla de quemado.- Que es la parte que "soporta" la flama producida. La boquilla debe de ser de material de alta aleación para que soporte el efecto directo de la flama.
- b) Cuerpo del piloto.- En cuyo interior se localiza el termocople para la medida de la temperatura de flama.
- c) Encendedor.- Para proveer de la fuente necesaria al encendido. La mezcla de gas de encendido viene del panel de ignición.
- d) Inspirador venturi.- Es la parte del piloto en cuyo interior se lleva a cabo la mezcla de gas aire necesaria a la combustión. Esta mezcla es alentada al quemador a través del venturi. La velocidad producida en el venturi evita el retroceso de la flama.

Cuando todos los pilotos operan sucesivamente, estos mandan una señal al elemento final de control, que es la alarma por falla de flama, las luces verdes estarán presentes en el monitor, una falla de uno o más pilotos resulta un cambio en la secuencia de la señal verde a roja y los contactos son impulsados por alarmas remotas de sonido.

El panel generador puede ser localizado en la ba-

se de la chimenea del quemador o remotamente, aunque se recomienda no instalarlo cerca de la base del quemador, por la razón de algún desfogue pico, lluvia de fuego, o radiación provocada por los quemadores, y pueden causar serios accidentes al personal que se encuentre cerca de la base de los quemadores.

Un esquema típico de la instalación de la unidad de encendido remoto, puede observarse en la fig. No. IX-3.

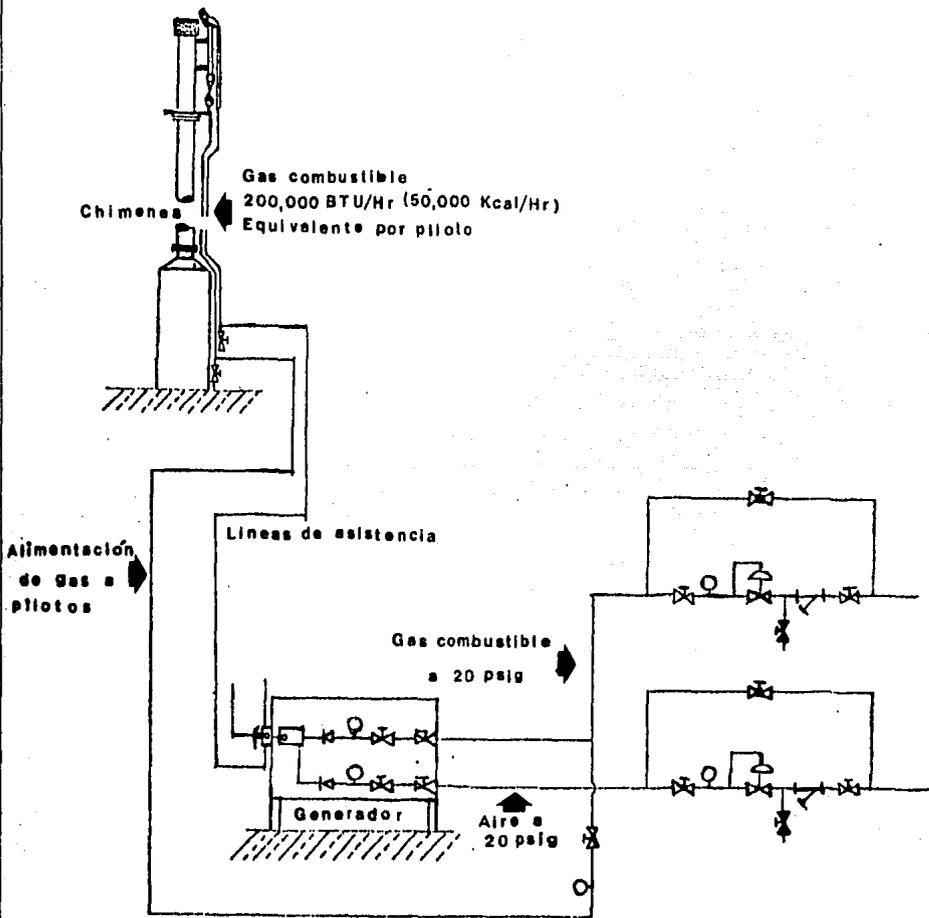
IX-2-1 Valores de operación de aire y gas en el sistema de ignición.

Los valores de operación de aire y gas en el sistema de ignición pueden ser:

SERVICIO	CANTIDAD	PRESION
Gas a pilotos	200 pies ³ /hora	15 PSIG
Aire de ignición	30 pies ³ /hora	30 PSIG
Gas de encendido	100 pies ³ /hora	15 PSIG
Electricidad	120 V/60 Hz/1 f	-----

Se deberá especificar el Valor Calorífico Neto, -- del gas para los pilotos en unidades de BTU/pie³; Para gases, tales como, natural, propano, butano el valor varia de 900 a 1000 - BTU/pie³.

Los valores descritos para la operación en los generadores de frente de flama, como es el gas de encendido, gas a-pilotos, aire de ignición, son los más recomendados para llevar a cabo el encendido de los quemadores.



Esquema típico de tubería para la instalación del generador de flama

REF. No.11

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE QUIMICA		
TESIS PROFESIONAL		
D/B: JESUS SOLIS G.	Ve. Sr. CARITINO MORENO	
ESC:	FIGURA No. IX-3	FECHA: ENE-84

El consumo de gas en los pilotos, basado en una -- gravedad específica de 0.6, para gas natural, con orificio en la boquilla de los pilotos de 1/16 de pulgada es el siguiente:

PRESION DEL GAS	FLUJO DE GAS
1 PSIG	31 pies ³ /hora
2 PSIG	43 pies ³ /hora
4 PSIG	61 pies ³ /hora
5 PSIG	68 pies ³ /hora
10 PSIG	96 pies ³ /hora
25 PSIG	150 pies ³ /hora

Se deberá tomar mucho en cuenta el tipo de gas -- que se usará para el encendido de los pilotos con el objeto de -- dar el tamaño adecuado del orificio de la boquilla.

IX-3 ARRANQUE DE LA UNIDAD DE ENCENDIDO

Para obtener una mayor seguridad en la operación de un quemador elevado y/o fosa se requiere no haya aire (oxígeno presente en los gases de desperdicio conforme estos gases lleguen a la presencia de los pilotos) Como ya se mencionó en el capítulo VI, sección 8, se utilizan gases de purga en cantidad para evitar la entrada de aire al sistema de quemadores de gas de desperdicio, mientras que el mismo esté en operación y estén encendidos los pilotos. Puede existir el riesgo de una explosión si los pilotos están encendidos. Si se requiere que el sistema de quemadores de gas de desperdicio esté abierto por cualquier razón, apáguese los pilotos antes de que comience el trabajo y no se enciendan, sino hasta después de que el sistema haya sido totalmente purgado. El sistema de quemador de gases deberá ser --

absolutamente impermeable al gas.

El arranque de la unidad, puede ser de acuerdo a los siguientes puntos:

- 1.- Purgar el quemador elevado y/o fosa con nitrógeno o gas natural hasta que todo el oxígeno sea reemplazado del cabezal elevado y de la boquilla del quemador.
- 2.- Soplar corriente abajo en las líneas o conductos de gas y de aire del generador de flama y soplar corriente abajo de las válvulas para eliminar lo que se haya condensado.
- 3.- Oprimase el interruptor "F" o accionar la palanca para verificar el centelleo en el visor.
- 4.- Abranse las válvulas "A" y "B" para un flujo directo. Este operará al piloto No. 1.
- 5.- Abrase la válvula "C". Esto abastecerá a los pilotos de combustible.
- 6.- Abrir la válvula "D" y graduarla a 10 PSIG (aire).
- 7.- Abrir la válvula "E" y fijarla a 10 PSIG (gas).
- 8.- Purgar durante dos o tres minutos (mezcla de aire-gas que flama en la punta de encendido). El tiempo de purga dependerá de la distancia de la flama al generador.
- 9.- Oprimase el interruptor "F". Accionese la chispa para encender la mezcla.
- 10.- En caso de que el piloto no encienda, repetir los pasos 8 y 9

- 11.- Si repitiendo los pasos 8 y 9 dos o tres veces no se enciende el piloto, cambiar ligeramente la presión del aire con la válvula "D" a una presión más baja, repetir los pasos 8 y 9; o, aumente la presión hasta que se encienda el piloto, esto se puede deber a la distancia a la que se encuentran los quemadores del sistema de ignición.
- 12.- Cerrar la válvula "A". Esto abastecerá al piloto No. 2 y repetir los pasos 8 y 9.
- 13.- Cerrar la válvula "B". Esto abastecerá al piloto No. 3 y repetir los pasos 8 y 9.
- 14.- Si el sistema usa encendedor, empujar la palanca como si estuviera utilizando el interruptor "F"
- 15.- Cuando esten encendidos todos los pilotos, cerrar las válvulas "D" y "E".
- 16.- En los días soleados, es difícil observar la flama del piloto, para verificar la misma, cerrar la válvula "D", y abrarse la válvula "E" a 25 PSIG durante dos o tres minutos, la flama del piloto se hará luminosa. Esta operación se repite para cada piloto abriendo y cerrando las válvulas "A" y "B".
- 17.- Después de que se encendieron todos los pilotos y se verificó el encendido, se procederá a abrir la válvula del gas despedido.

Si no se observan chispas, verificar el circuito eléctrico y la brecha de la chispa. Si no se observa un relámpago azul en el videovisor, verificar la entrada de aire y gas.

Desconectar la punta de chispas y quitar el videovisor y verificar la entrega de aire y gas individualmente.

El drenaje servirá para las líneas o conductos que se llenan de condensado.

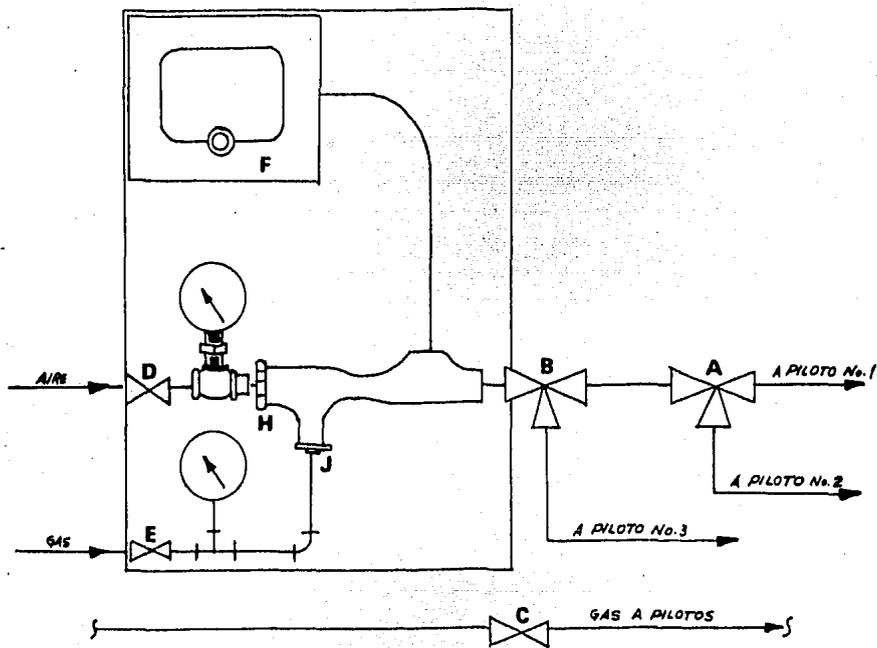
Los orificios "H" y "J" estarán clasificados dependiendo de la gravedad específica del gas, esto se hará con el fin de encontrar la presión apropiada para combustibles que tengan gravedad específica diferente, únicamente ajustando el aire a 10 PSIG y con el interruptor "F" una vez oprimido, arranquese de acuerdo a la disminución y/o aumento de la presión del gas combustible hasta que se observe la combustión a través de la mirilla de cristal. Esto le dará la presión de combustible requerido para las diversas gravedades específicas del gas en cuestión.

La operación para el arranque de la unidad, para un sistema de quemadores queda representado en la fig. No. IX-4.

Dentro de la instrumentación del panel encendedor, se recomienda que haya un interruptor inmediatamente hacia arriba del orificio que regule el volumen de la purga de manera que exista una alarma sonora, si la presión del gas de purga hacia arriba del orificio limitador o regulador cae abajo de un punto fijo. Se recomienda además que el gas de purga en el flujo hacia arriba del orificio limitador pase a través de un filtro en el cual las aberturas de la malla no sean de más de un cuarto del orificio limitador para la regulación del gas de purga.

Teniendo presentes los puntos para el arranque de la unidad de encendido, el mantenimiento adecuado y la buena operación en el sistema de quemadores elevados y/o fosas, la operación de los mismos será un éxito.

JZ



Representación para el arranque
de la unidad de encendido
rémoto
REF. No.15

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA
TESIS PROFESIONAL

Dib. JESUS SOLIS G. Vº. Bº. CARITINO MORENO

ESC. *H*

FIGURA No. IX-4

FECHA: ENE-84

CAPITULO X

LA METALURGIA EN LOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE QUEMADORES

X-1 ASPECTO METALURGICO

X-1-1 Generalidades

En años recientes la metalurgia ha tenido un gran desarrollo, esto hace que el Ingeniero Metalurgista mantenga sus conocimientos al día, sobre todo explicar los fenómenos metalúrgicos básicos, identificar las composiciones y propiedades de los materiales comerciales, y más que otra cosa los principios de la fabricación de los metales y sus aleaciones.

El material, metalúrgicamente hablando se estudia desde dos puntos de vista tanto a nivel macroscópico, como a nivel microscópico, por lo que la metalurgia ha enfocado su estudio en las propiedades físicas, químicas y mecánicas del material en cuestión.

La mayoría de los aceros y sus aleaciones se les obtiene por diversos métodos, por ejemplo cuando se requiere un acero muy puro, con un alto grado de resistencia y muy tenaz, como el que se usa en la fabricación de motores tanto eléctricos, como en los de combustión interna, sistemas de transmisión, ejes, etc., es imprescindible obtenerlos en hornos eléctricos.

Sin embargo, para los aceros de alta aleación recientemente se le ha obtenido de muy buena calidad en hornos de inducción en los que el metal no toca jamás los electrodos, sino que su proceso es por calentamiento de corriente inducida.

Las cualidades de un acero son modificadas notablemente por la presencia de cantidades mínimas de otros elementos, tales como: Niquel, manganeso, cromo, vanadio, tungsteno, titanio, molibdeno, etc., el acero cuyas propiedades varían según la composición química, es uno de los materiales más importantes, en tal forma que la potencialidad Industrial de un país se mide por el consumo del acero.

X-1-2 Clasificación de los aceros.

La metalurgia clasifica a los aceros en tres formas:

- a) Por su proceso de fabricación.- Ya sea en diferentes clases de hornos como: Thomas, eléctrico, inducción, etc.
- b) De acuerdo a su uso.- Material ferroso especial para maquinaria, herramienta, estructural.
- c) De acuerdo a su composición química.

Existen además dos normas reconocidas mundialmente que nos permiten clasificarlos por la composición límite y por el porcentaje de elementos predominantes, estas normas son: AISI (AMERICAN INSTITUTE STEEL IRON) y la SAE (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS).

Sin embargo, para el diseño y la construcción de cualquier equipo de proceso, deberemos basarnos en dos códigos que son: ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS) y el código ASTM (AMERICAN SOCIETY TESTING MATERIALS). Ambos códigos son de suma importancia ya que permiten diseñar, especificar y escoger los materiales adecuados para la construcción del equipo.

Los materiales para la construcción de un equipo se especifican en función de la presión y la temperatura a la cual -

estarán sometidos durante su operación, considerando factores como solución, concentración, grado de agitación, presencia de impurezas en el fluido, que aceleran la velocidad de corrosión. El diseñador deberá conocer las composiciones químicas de los materiales que sean adecuados para resistir la oxidación y la resistencia a la corrosión.

X-1-3 Especificación de Materiales.

En la selección de los materiales para la construcción de equipos, debiera tenerse en cuenta el factor "Temperatura", ya que la resistencia a la tensión disminuye al aumentar la misma. Para todos los materiales especificados existe una temperatura mínima y una temperatura máxima que son críticas y que al rebasarlas, la resistencia a la tensión y la resistencia al impacto disminuyen.

Los materiales sujetos a esfuerzos debido a las presiones deberán ajustarse a las especificaciones dadas en el Código ASME para diseño y construcción. En el diseño de recipientes presurizados debe de tenerse en cuenta la especificación por soldadura dada por la AWS (AMERICAN WELDING SOCIETY), así como el radiografiado por "SPOT" y darle al equipo un tratamiento de "Relevado de esfuerzos", con la condición de que el equipo no estará en contacto con una flama.

El código de la ASME, especifica los materiales para diseño y construcción en la sección II, parte A "Materiales ferrosos", para tubería y placas, sin embargo para especificar materiales para equipos de proceso se deberá recurrir al código de la ASTM Estandares.

Ambos códigos especifican exactamente igual, la ASTM Estandares tiene la letra "A" que designa un metal ferroso estandard, la letra "B" designa un metal no ferroso estandard, la

ASME antepone la letra "S" a la letra "A", indicando "Specification", posteriormente viene la secuencia de un número que clasifica por especificación el tipo de material.

La selección y la especificación de los materiales para la construcción del equipo de proceso dependerá mucho para el cual será usado, así como las especificaciones mecánicas y de proceso que son parte importante en la etapa preliminar del diseño de equipo. En nuestro caso, el equipo para tratamiento de efluentes gaseosos y/o líquidos se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- a) Composición química del efluente a tratar.
- b) Presión de operación.
- c) Temperatura de operación.

Con la composición química del efluente, el diseñador selecciona y reúne los materiales adecuados por especificación, para que estos puedan resistir los efectos de la oxidación y la corrosión.

Los materiales especificados en función de la presión permitirán al diseñador obtener el máximo de esfuerzos permisibles entre dos rangos de temperatura que son descritos para cada material en el código ASME.

Con la temperatura de operación se obtiene la temperatura de diseño a la cual el material debe ser usado, especificando los valores permisibles para las tensiones del material en función de la temperatura.

De esta manera con los códigos ASME y la ASTM Estándares, procederemos a mencionar los materiales adecuados para la construcción de los equipos para tratamiento de efluentes.

X-2 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE QUEMADORES

X-2-1 Materiales Para Quemadores Elevados.

Los materiales más recomendados en un quemador elevado, por especificación de la ASTM Estandares son:

a) BOQUILLA DEL QUEMADOR

Cuerpo superior, sección cabeza: Acero inoxidable - ASTM A-249 o AISI 309.

Cuerpo inferior, sección base: Acero al carbon ASTM A-285°C.

Rompedor de viento: Acero inoxidable ASTM A-249 o - AISI 309.

Anillo retenedor de flama: Acero inoxidable ASTM A-249 o AISI 309.

Refractario, sección cabeza superior: Kalser Cast - IRC 29L1 o Purolite 30.

b) PILOTOS Y ENCENDEDORES

Boquilla del piloto: Incoloy 800H

Boquilla del encendedor: Inconel 625H

Tubo del piloto: Acero inoxidable ASTM A-249 o AISI 309.

Tubo del encendedor: Acero inoxidable ASTM A-249 o - AISI 309.

Soportes para montaje: Acero al carbon ASTM A-285°C

Venturi: Acero al carbon ASTM A-53°B

Termocople: Cromel-Alumel, tipo "K".

c) SELLOS PARA FLAMAS

Cuerpo: Acero inoxidable ASTM A-249 o AISI 309.

Interiores: Acero inoxidable ASTM A-249 o AISI 316.

d) SECCIONES ELEVADORAS

Cuerpo: Acero al carbon ASTM A-285°C

e) SELLO DE AGUA

Cuerpo: Acero al carbon ASTM A-285°C

Interiores: Acero inoxidable ASTM A-249 o AISI 304.

X-2-2 Materiales Para Quemadores de Fosa.

Los materiales más recomendados para un quemador de fosa tipo "PARRILLA" son:

a) CABEZAL/QUEMADOR/SISTEMA DE CONTROL

Cabezal del quemador: Acero inoxidable martensítico AISI 416.

Cabezal distribuidor: Acero inoxidable austenítico AISI 316°L.

Conexiones múltiples del quemador: Acero al carbón-ASTM A-105 forjado.

Válvulas de mariposa: Acero al carbon ASTM A-105

b) PILOTOS Y ENCENDEDORES

Boquilla del piloto: Acero aleado al níquel/cromo - Incoloy 800H.

Tubo del piloto, sección superior: Acero inoxidable ASTM A-249 o AISI 304.

Tubo del piloto, sección inferior: Acero al carbon-ASTM A-106 °B forjado.

Tubo del encendedor, sección superior: Acero inoxidable ASTM A-249 o AISI 304.

Tubo del encendedor, sección inferior: Acero inoxidable ASTM A-249 o AISI 304.

Termocople: Cromel-Alumel, tipo "K".

X-2-3 Materiales Para la Construcción de Tanques Separadores- (Knock out) y Tanques Sello.

Los materiales más recomendados para la construcción de tanques separadores y tanques de sello dependerán del efluente a tratar, estos pueden ser construídos en material de acero al carbon ASTM A-285°C o bien en material de acero inoxidable ASTM A - 240 o AISI 304, tomando en consideración el código ASME para diseño y construcción de recipientes presurizados, sección VIII, - división I, cálculo de espesores teóricos, especificación por -- soldadura AWS, radiografiado y tratamiento de relevado de esfuerzos.

X-2-4 Materiales para la construcción de la unidad de encendido remoto.

Tablero de control: Acero al carbon ASTM A-283°C

Válvulas de bloqueo: Acero al carbon ASTM A-216°WCB.

Tubería de interconexión: Acero al carbon ASTM A-53°B.

Válvula de tres vías: Acero al carbon ASTM A-53°B.

Camára de combustión: Acero Inoxidable ASTM A-249 o AISI 316.

X-2-5

Procedimientos de Prueba.

Los procedimientos de prueba son aplicables a todos aquellos equipos de proceso que van a operar bajo cierta presión de trabajo y antes de ser instalados se les someterá a una prueba con el objeto de estar seguros que los materiales con los que fueron fabricados son los adecuados, esta prueba únicamente se les hará a los recipientes que estarán sujetos a presión como son: Tanques separadores y tanques de sello, la prueba adecuada para estos casos, es la prueba neumática con el propósito de detectar fallas en su construcción.

Los quemadores elevados y/o fosas, no requieren pruebas para detectar fallas en su construcción, ya que estos equipos no estarán bajo la influencia de cierta presión, tampoco a las boquillas de quemado, las secciones elevadoras (risers) de gas, no tendrán un tratamiento por "Relevado de Esfuerzos", debido a que las boquillas siempre estarán en contacto con la flama, únicamente se requerirá un certificado por procedimiento de soldadura calificado.

Debe darse especial consideración a las partes que resultan más dañadas con el tiempo, por el efecto de la temperatura y que están en contacto con la flama, como son los retenedores de flama, boquillas de los pilotos y tubos de encendido, por lo que se ha recomendado que estas partes sean de un material especial denominado INCOLOY (níquel-hierro-cromo) aleación 800H e INCONEL aleación 625H, que son aleaciones resistentes a la oxidación y a la carburización a altas temperaturas

El requemado de los materiales será en diferentes gra--

dos por el tiempo de permanencia de la flama, por esta razón a la sección superior de la boquilla se le protege con refractario moldeable. Con frecuencia el quemado es provocado por el carbono del material, como el del hollín formado durante la combustión de los gases, este carbono tenderá a combinarse con el oxígeno y deformatá los límites de grano, formando globulos de carbono que -- quedarán ocluidos en la matriz del material, continuando la transformación hasta formar FeO (óxido ferroso) que quedará ocluido en forma irregular.

Las partes que más se dañan con el tiempo y el uso deberán tener una inspección y mantenimiento constante, y cambiarlas con la frecuencia necesaria.

CAPITULO XI

CONCLUSIONES

La finalidad de este trabajo ha sido la de proporcionar las bases para los requerimientos en el diseño de los sistemas de relevo, para la eliminación de grandes volúmenes de hidrocarburos de deshecho producidos durante la operación y/o falla en una planta de proceso.

La selección de un sistema de quemado dependerá grandemente de la situación que prevalezca en una planta, además de los factores ya antes mencionados como son: Espacio disponible en la planta, cantidad de efluente a tratar, composición química del efluente, costos de instalación, operación y mantenimiento; no olvidando las reglas locales que disturben y eviten molestias tanto a la comunidad cercana como a las áreas laborales de proceso, así como el aspecto legal que previene y controla a la contaminación ambiental.

Por lo que, a cada capítulo se le ha dado un tratamiento especial en su estudio y ha dirigido su atención especialmente en dar a conocer los diferentes tipos de sistemas de cuando podemos optar por uno u otro. En lo que se refiere a contaminación, en el capítulo III, sección 3 se ha analizado la mecánica de combustión para quemar hidrocarburos hasta su total combinación de éstos con el oxígeno del aire, o bien el uso generalizado de sistemas de inyección por medio de vapor, esparcido con agua y soplado con aire.

En algunas ocasiones cuando el efluente tiene un valor económico, frecuentemente se presenta la necesidad de recuperarlo y no enviarlo a un quemador, los sistemas auxiliares para los quemadores como tanques separadores y tanques de sello vienen siendo

parte del sistema de recuperación de gases y/o líquidos, la instalación de este equipo dependerá una vez llevada a cabo la "Fase - Cero de Estudio", la cual consiste en asegurarse si es o no económicamente justificable su instalación.

Las boquillas Indair, Mardair y Stedair, analizadas en el capítulo VI, son conocidas con el nombre de "mini"chimeneas"- (mini-stack), en cuanto a su instalación y por su ligereza, se recomienda que la erección se lleve a cabo en los botalones de plataformas marinas o cercanas a la costa marítima.

El capítulo VII que ha sido el más largo en su desarrollo, lo hemos considerado como la parte medular del presente trabajo, el estudio de los criterios técnicos de diseño son fundados en bases teóricas y experimentales, y son considerados como los factores más importantes en la etapa preliminar de diseño para el cálculo de flama, radiación y la altura a la que deberá encontrarse ésta. No hay que olvidar los factores de diseño para el dimensionamiento de los cabezales de desfogue que van hacia los quemadores, por lo que se han sintetizado las ecuaciones básicas para el diseño en ductos bajo condiciones de flujo Isotérmico donde -- las líneas de conducción son grandes, sin embargo, para líneas de conducción cortas y con caídas de presión considerables la velocidad de flujo adiabático es mayor que la del flujo isotérmico, de aquí que se hable de un posible error en la suposición del flujo isotérmico.

Para los cálculos con suposición de flujo adiabático a -- flujo isotérmico, existe una diferencia máxima posible de más o -- menos un 20%, que obviamente ya es un error de tomarse en consideración. La dinámica del flujo de fluido compresible ha considerado al flujo isotérmico como un flujo adiabático hipotético, donde el exponente adiabático k , es la unidad. Esta suposición es -- útil para cuando el cálculo de los ductos es muy simple.

Sin embargo, para cuando se trata de flujo adiabático - el incremento de presión y la disminución de la temperatura, el exponente adiabático tiende a valores mayores de la unidad y el factor de compresibilidad tiende a disminuir. El factor de compresibilidad, z es únicamente un factor de corrección para la constante, R del gas ideal.

En el diseño de los cabezales para los quemadores de fosa, especialmente para los de piso, parrilla y el multijet, compuestos por un conjunto de boquillas para el quemado de gas deshecho, existirán caídas de presión por las restricciones y orificios de éstas, en este caso debe ponerse más atención en el diseño de las mismas, el flujo de cualquier gas o vapor por una boquilla es adiabático debido a que el tiempo requerido para que pueda existir un proceso de transferencia de calor es infinitamente pequeño, por lo que el diseñador deberá utilizar ecuaciones de orificio para flujo de gases compresibles.

En la elección y diseño de válvulas de seguridad y alivio debemos tener muy en cuenta la contrapresión, que no es otra cosa, más que la presión a la cual descarga la válvula para proteger a los equipos de una posible sobrepresión. Por ejemplo, en el caso de válvulas convencionales de seguridad y/o alivio la presión de ajuste se verá afectada por la contrapresión. Si el espacio que se encuentra arriba del disco en las válvulas de resorte, es venteado a la línea de descarga, la presión de ajuste, será incrementada tanto como se incrementa la contrapresión, ahora en el caso de que el venteo sea directamente a la atmósfera, la presión de ajuste disminuirá. Si la presión de ajuste es constante, no habrá problemas serios, ya que el resorte de la válvula puede calibrarse para compensarle. En el caso de tener contrapresiones variables, como ocurre en válvulas que descargan den-

tro de un cabezal de desfogue, la calibración del resorte no es suficiente, entonces se deberá recurrir a válvulas balanceadas en lugar de las convencionales.

En el capítulo VIII se describe la dispersión de material contaminante a la atmósfera y se ha preferido usar la ecuación de Sutton en vez de la ecuación de Bosanquet-Pearson, ya las constantes de difusión para la ecuación de Sutton están basadas en un intervalo de 3 minutos, mientras que para las constantes de la ecuación de Bosanquet-Pearson se basan en un intervalo de 30 minutos.

El capítulo IX describe la instrumentación, el funcionamiento y el arranque de la unidad de encendido remoto para los quemadores, en este capítulo se intenta de que el operador tenga una noción acerca del arranque del sistema de quemadores.

La guía correcta para la selección de los materiales por especificación para la construcción de equipo de proceso es bajo la ASTM, sugerimos al Ingeniero de diseño consultarla para mayor referencia.

En el diseño de los sistemas de relevo de efluentes gaseosos y/o líquidos no se deberá descuidar el aspecto económico de todos los componentes del sistema como son:

- 1.- Tubería de desfogue.
- 2.- Válvulas de seguridad y alivio.
- 3.- Tanques Separadores y tanques de sello
- 4.- Tubería de elevación, sellos de gas y boquillas.
- 5.- Tubería auxiliar para el vapor y el gas.
- 6.- Instrumentación.

La localización de los quemadores con respecto a los cabezales de las áreas de proceso que desembocan en el cabezal --- principal y éste al quemador, es de vital importancia para el aspecto económico, ya que es preciso conocer el diferencial de presión entre las líneas de conducción, así como la presión a la -- cual están ajustadas las válvulas de seguridad y alivio para desfogar.

Los programas de optimización de procesos son aplicables en estos casos para diseñar y optimizar las líneas de conducción que junto con las especificaciones mecánicas y de proceso, permiten con los diagramas de flujo e isométricos obtener el arreglo y el tamaño óptimo de los cabezales. Deben tenerse en la etapa - preliminar de proyecto varias opciones como sea posible para el éxito del proyecto.

Como ya mencionamos, el diseño de quemadores elevados - y/o fosas, presentado en este trabajo es muy versátil, ya que el material presentado aquí se ha obtenido de publicaciones más relevantes, así como de los propios fabricantes.

En resumen, ya para dar término al presente trabajo, éste será de una gran ayuda para el Ingeniero de Proceso y pretenderá ser únicamente una guía para el diseño de los sistemas de - desfogue de efluentes gaseosos.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Waste Treatment and Flare Stack Design Handbook.
Hydrocarbon Processing 1968
- 2.- Design and Installation of Pressure-Relieving Systems in Refineries.
API RP 520 First Edition September 1969.
- 3.- Guide for Pressure Relief and Depressuring Systems.
API RP 521 First Edition September 1969.
- 4.- Manual on Disposal of Refinery Wastes.
API Volume II Fifth Edition 1957.
- 5.- Sistemas de desfogue de Emergencia
Juan José Sanchez N. Maestria de Ingeniería de Proyecto. UNAM (Facultad de Ingeniería) 1979.
- 6.- Predicting Radiant Heating From Flares.
T. A. Brzustowski and E. C. Sommer, Jr. Paper for Presentation at a Session on Pressure-Relieving Systems. American Petroleum Institute's Division of Refining. 1973
- 7.- Find Radiation Effect of Flares.
G.R. Kent. Hydrocarbon Processing, Vol. 47, No. 6 1968.
- 8.- Flare Design... are Current Methods too Conservative?
P.R. Oenbring and T.R. Sifferman. Hydrocarbon Processing, 1980.

- 9.- Flow of Fluid Through Valves, Fittings, and Pipe.
Technical Paper No. 410, Crane Co. Chicago 1976.
- 10.- Towards Quieter Flaring.
David Shore. A Paper Presented at the ---
74th Meeting of the American Institute of
Chemical Engineers 1973.
- 11.- Smokeless Flares, Utility Flares, Ground Flares...
Conference by Flaregas Corporation on Ele
vated Flares and Pit in Auditorium "Bruno
Mascanzoni" IMP. México, D.F. 1982.
- 12.- The Anti-Pollutant Smokeless Flare.
"Flaregas", Issue 1, Flaregas Corporation
New York.
- 13.- Ground Pollution From Elevated Flare Effluents.
"Flaregas", Issue 2, Flaregas Corporation
New York.
- 14.- Gas/Liquid Disposal Systems.
"Kaldair", Kaldair Limited, England 1978.
- 15.- Lighting Instructions for John Zink Waste Gas Flare Assemblies
"John Zink", John Zink Company Tulsa, Okla
homa.
- 16.- The NAO Fluid Seal for Flare Stacks, Vents and Chimneys.
"NAO" National Air Oil Burner Company, Inc
1972.