



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**Contaminación Atmosférica producida  
por Humos Visibles**

79

CONTRERAS PUENTE, AMBRÓSIO  
[Y]

**SALOMON PEREZ JIMENEZ**

**INGENIERO QUIMICO**

1 9 7 4



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Tesis  
LAS \_\_\_\_\_  
AÑO \_\_\_\_\_ 1974 \_\_\_\_\_  
FECHA \_\_\_\_\_  
PRGC \_\_\_\_\_  
08 \_\_\_\_\_



QUIMICA

Jurado asignado originalmente según el tema.

PRESIDENTE PROF. RAMON VILCHIS ZIMBRON  
V O C A L Prof. ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO.  
SECRETARIO Prof. JORGE MENCARINI PENICHE.  
1er. SUPLENTE Prof. ENRIQUE JIMENEZ RUIZ.  
2o. SUPLENTE prof. RAMON ARNAUD HUERTA.

Sitio donde se desarrolló el tema: Subsecretaría de Me  
joramiento del Ambiente.

Nombre completo y firma del sustentante: Salomón Pérez  
Jiménez. Salomon Pérez J.

Nombre completo y firma del asesor del tema: Prof. Jor-  
ge Mencarini Peniche. Jorge Mencarini Peniche

A mi madre, con todo mi cariño y agradecimiento.

A mi tío, con gratitud y respeto.

A mi hermana, con cariño.

A mi familia.

## C O N T E N I D O

INTRODUCCION	
GENERALIDADES SOBRE COMBUSTION	1
EQUIPOS DE COMBUSTION	15
HUMO VISIBLE	37
METODOS PARA MEJORAR COMBUSTION	51
CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFIA	

## INTRODUCCION

En un planeta como el nuestro, en donde los recursos naturales se están agotando alarmantemente debido al crecimiento tan desmesurado de la población humana, y en donde el medio ambiente día a día el hombre lo contamina más, es de verdadera urgencia crear una conciencia de conservación de la naturaleza y de la vida silvestre, sin que con ello se contraponga el progreso necesario de la civilización. Precisamente una verdadera civilización será aquélla que empiece por reconocer en la naturaleza, que nos rodeaba originalmente, un medio de vida apropiado y de subsistencia para las futuras generaciones.

Debemos crear en el hombre conciencia de que solamente respetando la naturaleza, podremos asegurar nuestra existencia en el planeta. Debemos llegar a formar un verdadero equilibrio entre la humanidad y el medio y no tratar de que el medio se adapte a nosotros. Precisamente aquí está el problema, ya que se entiende mal que la naturaleza debe adaptarse al hombre, cuando es el hombre y sus semejantes y las plantas los que deben adaptarse al medio en el cual quieren vivir.

Dos de los problemas fundamentales que el ser humano deberá solucionar en un futuro próximo, para asegurar su supervivencia sobre la tierra, en las condiciones actuales de desarrollo, son: el suministro de energía y el control de la contaminación ambiental.

La contaminación ambiental, es a la fecha, el precio que la humanidad tiene que pagar para su progreso industrial, ya que el desarrollo económico de un país puede medirse por la energía que consume y hasta ahora, no se ha descubierto ningún método de producción de energía en escala importante que no produzca contaminación ambiental o trastornos ecológicos.

La contaminación ambiental en las últimas fechas, es una de las más graves preocupaciones de los pueblos de nuestro planeta, sobre todo en la atmósfera que es la que más directamente percibimos y esto determine que hablemos en primer término de ella, a través de las palabras conocidas como son: smog, niebla de las ciudades, polución del aire y otras. Esto se ha detectado desde hace muchos años pero las grandes concentraciones de población, con el consecuente desarrollo tecnológico, ha hecho que en estas últimas épocas, el problema aflore y en consecuencia preocupe al hombre, ya que se ve afectado directamente en su salud y en sus bienes.

El avance de la tecnología ha logrado más de un cambio revolucionario en las condiciones de la vida del hombre. Por ejemplo la medicina ha reducido el índice de mortalidad. Por otra parte el progreso de la Tecnología nos ha dado el poder de extraer y consumir recursos naturales no renovables a una escala y a un ritmo que si no se controla, se agotarán las existencias de algunos de ellos dentro de la expectativa de la vida de la presente generación y de la actividad industrial envenenándose también el ambiente natural.

En estos últimos años nos privamos de aquel cielo azul, que fuera orgullo de nuestras ciudades, del cual sentimos los efectos de sus concentraciones de humos, polvos y gases que en su mayoría son integrados por las emisiones producidas por los vehículos automotrices, pero que también en -- parte muy importante se forman con los desechos fabriles y -- también por productos o materias primas que son emitidos a -- la atmósfera por fallas en los procesos industriales o equi-- pos de control, contribuyendo a modificar la atmósfera que -- nos rodea, con lo cual cambia la composición de dicha atmós-- fera, perjudicando posiblemente la vida y alterando materia-- les. Se designa este fenómeno atmosférico como contamina---- ción atmosférica.

En los países mediana y altamente industrializados existe actualmente una legislación sobre saneamiento ambien-- tal. Los primeros, muchas veces han adoptado una legisla--- ción con medidas aplicadas a los últimos, legislación impues-- ta con premura que en la mayoría de los casos, es poco efi--- ciente para resolver los problemas particulares de una na--- ción.

En nuestro país se ha creado la Subsecretaría de -- Mejoramiento del Ambiente y se han establecido normas lega-- les que han de regir sobre las instalaciones fabriles en -- cuanto a desechos industriales se refieren. Estas normas -- fueron publicadas a partir del 23 de Marzo de 1971, con la -- expedición de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la -- Contaminación Ambiental; El Reglamento para la Prevención y

Control de la Contaminación de Aguas, el 29 de Marzo de 1973; El Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica Originada por Humos y Polvos, el 17 de Septiembre de 1971.

Este último reglamento previene la emisión de humos provocada por combustión a cielo abierto y emisiones provenientes de equipos estacionarios incluyendo incineradores. Esta emisión de humo es debida a la mala combustión en dichos equipos y por consiguiente en combustión a cielo abierto, lo cual provoca una alta concentración de monóxido de carbono. Cabe mencionar que esta mala combustión, no sólo es consecuencia de no saber optimizar el combustible ya que para que haya una buena combustión es importante considerar el equipo que se vaya a utilizar. Se tratará en especial, en el presente trabajo, sobre una caldera que trabaja con combustible pesado o combustóleo ya que es el combustible que presenta mayor dificultad para lograr una combustión completa y por consiguiente mayor emisión de humos, además que en la ciudad de México, hay un número elevado de industrias y establecimientos de servicio, los cuales en su mayoría trabajan con dicho combustible.

Por otra parte si se tuvieran buenas técnicas de combustión se lograría un ahorro de combustible y un aprovechamiento mejor de la energía producida por éstos, además los equipos trabajarían a mayor eficiencia y con un costo de mantenimiento menor de lo que estarían operando, y no sólo esto, sino que lo más importante es que se tendría una atmós

fera más limpia.

En el presente trabajo se mencionan los equipos de combustión más usados y métodos para mejorar la combustión y además el Método de Medición del Humo aplicando la norma oficial que rige en la República Mexicana.

CAPITULO I  
GENERALIDADES SOBRE COMBUSTION

Para vivir el hombre necesita respirar oxígeno diluido en cierta cantidad de gas inerte, y en la atmósfera hay una mezcla de oxígeno y nitrógeno en proporciones adecuadas. Pero el aire contiene además otros gases, vapores y aerosoles, los cuales tienen diferentes concentraciones en los distintos puntos de la superficie terrestre, que el hombre se ve obligado a respirar. Algunas de esas materias son fisiológicamente inertes, pero otras provocan reacciones que van desde un ligero malestar hasta la intoxicación grave.

Se dice que los principales contaminantes de la atmósfera producidos por el hombre son los productos de la combustión liberados en cantidades cada vez mayores por causa del consumo de combustibles para la calefacción doméstica e industrial, la producción de energía, el transporte y otras aplicaciones. Por lo general al bióxido de carbono no se le considera una sustancia contaminante del aire, y el monóxido de carbono sólo tiene importancia cuando su concentración es muy elevada.

Ahora, refiriéndonos a los combustibles que son más usados en la actualidad, se dice que éstos principalmente son: carbón, petróleo y gas natural. El carbón y el gas natural son usados en su estado original, pero el petróleo que en la actualidad es la base de todos los combustibles requiere de una destilación y de un refinamiento para poder ser usado

como combustible.

Un combustible puede ser definido como "cualquier materia que puede ser usada para producir calor".

La combustión de la mayoría de los combustibles re quiere que éstos estén en estado gaseoso; ésto no quiere decir que todos los combustibles sean gases, sino que un combusti-- ble, líquido o sólido, debe ser calentado hasta que desprenda suficiente vapor antes de ser quemado.

La temperatura más baja a la cual un combustible - líquido produce suficientes vapores para mantenerse quemando continuamente se llama temperatura de ignición; similarmente, esta temperatura, para un combustible sólido se llama tempera tura de braza.

Los combustibles líquidos más importantes son deri vados del petróleo: gasolina, querosina, gasóleos, aceites ne gros y asfaltos, y deben ser calentados hasta su temperatura de ignición para poder ser quemados en forma contínua.

Si un combustible líquido es calentado a la tempe ratura llamada de inflamación, producirá vapores sólo para -- producir un flamazo momentáneo sin mantenerse la combustión, abajo de este punto no habrá combustión en absoluto.

Algunos de los combustibles sólidos más importan-- tes son: el carbón mineral (hulla, turba, lignito), el carbón vegetal y la madera.

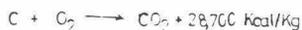
Para que un combustible sólido se quemé continuamente es necesario que esté a la temperatura de brasa, que es a la que desprende vapores suficientes para mantener la combustión.

Los combustibles gaseosos más importantes son: el hidrógeno, metano, etano, propano y butano; sin embargo frecuentemente el propano se separa para ser usado como gas doméstico (LPG) o para sistemas de refrigeración y el butano para ser mezclado en la gasolina.

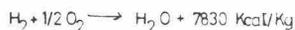
TEORIA DE LA COMBUSTION.- Al mecanismo de la liberación de la energía calorífica de un combustible se le llama combustión. Esta energía es un desprendimiento exotérmico de la reacción que ocurre entre el combustible y el oxígeno del aire.

Podemos decir que la perfecta combustión de un combustible (hidrocarburo) produce dos productos: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O); para que la combustión sea perfecta se requiere una cantidad precisa de oxígeno.

En la combustión del carbono puro, el oxígeno reacciona con él, formando dióxido de carbono en relación de un átomo de carbono por dos de oxígeno:



En la combustión del hidrógeno puro con el oxígeno reacciona formando agua, en relación de dos átomos de hidrógeno por uno de oxígeno:



Los hidrocarburos son combinaciones del hidrógeno y del carbono; así, para su completa y perfecta combustión requieren de una cantidad adecuada de oxígeno, para que todo el carbono se transforme en bióxido de carbono y el hidrógeno en agua. Por ejemplo, la combustión del metano:



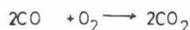
Si hubiera más oxígeno, la reacción sería completa pero no perfecta, pues sobraría oxígeno:



Por otro lado, si faltara oxígeno la reacción no sería perfecta pues el carbono no se transformaría en bióxido de carbono sino en monóxido de carbono:



Este monóxido de carbono es capaz de arder y liberar más calor:



La reacción que normalmente ocurre en la combustión se lleva a cabo a altas temperaturas y a alta velocidad, pero la misma cantidad de calor es liberada no importando las condiciones, ya que al final los productos serán los mismos. La eficiencia en el uso de este calor liberado sólo dependerá de la manera en que sea controlada la combustión, y del uso que se le quiera dar, desde luego esto dependerá del combustible y del proceso donde se va a usar.

PRODUCCIÓN DE LA FLAMA.- La flama es producto de la combustión de los gases y de los vapores, si es el caso de algún combustible sólido éste se tendrá que volatilizar. La

temperatura que se obtiene en la combustión tiene que ser lo suficientemente alta para que la reacción se siga llevando a cabo, ya que de lo contrario la flama se extinguiría. Se ha visto que en el caso de un combustible sólido, por ejemplo el carbón, la flama que se produce depende en gran parte de la proporción de los constituyentes volátiles del combustible y del residuo, el cual no es volátil. Con algunos combustibles no se puede obtener una elevada zona de intensidad calorífica. Cuando ésto se desea, lo que se hace es que la combustión se lleve a cabo lo más pronto posible, de este modo los combustibles que tienen constituyentes poco volátiles puedan ser usados, tal es el caso de la antracita o coque.

En general podemos decir que una flama es ineficiente para el propósito de calentamiento cuando hay una gran diferencia entre su temperatura y la de la superficie que se quiere calentar. Esto se debe a dos cosas principalmente, -- hay obstrucción de combustión por baja temperatura y a la formación de una capa de gas, la cual es mala conductora del calor a lo largo de la superficie que se desea calentar. Aunque mucho depende sin embargo de la intensidad de la flama. La mayor luminosidad que presentan algunas flamas se debe a la presencia de partículas de carbón sobrecalentadas, el efecto radiante de estas flamas es mucho mayor que el de las flamas no luminosas.

Entonces podemos decir lo siguiente: la flama debe ser luminosa, un poco anaranjada en el extremo; nunca debe de tocar la superficie, ya que en la zona de contacto formaría -

coque, debe circunscribirse tangencialmente al refractario, llenando al máximo la cámara de combustión.

La flama nace a 2 ó 3 cm. de la zona de ebullición y se mantiene a esa misma distancia. Si se aleja puede llegar a extinguirse o provocar pulsaciones (presiones y depresiones).

La extinsión de la flama puede deberse a las siguientes razones:

Exceso de aire.

Excesiva velocidad de la mezcla aire-combustible.

Pulverización defectuosa.

Tiro insuficiente.

Cámara de combustión excesiva, ante la cual la mezcla combustible-comburente es pobre. El aire tiende a colarse entre flama y paredes.

Si la deflexión de aire no es correcta, la flama puede iniciarse dentro del cono deflector, elevando excesivamente la temperatura del sistema y coquizando el combustible de la línea y de la zona de ebullición, obstruyéndolos.

La temperatura de la flama es de gran importancia en el calentamiento de los gases, en parte porque la velocidad de calentamiento es más rápida en la parte superior de la flama y porque la mayor eficiencia térmica del proceso se logra con la temperatura de la parte superior de la misma.

La temperatura de la flama es difícil de medir y -

los valores que normalmente se usan corresponden a los de temperatura teórica, la cual se podría calcular a partir del calor de combustión, calor específico y volumen de los gases. Estos valores son superiores que los prácticos, pero su importancia estriba en que son comparables y sirven para el cálculo de efectos de precalentamiento, exceso de aire, etc. A continuación se dan algunos valores:

Temperatura de Flama de los Gases

	Btu/ft <sup>3</sup>	Temp. °C
Gas de Carbón	560	2160
Vapor de Agua	310	2300
Gas Pobre	128	1680
Gas del Horno	92	1460
Hidrógeno	320	2045

La temperatura de la flama para mezcla de gases, puede ser calculada de tablas o gráficas que muestran el contenido total calorífico de los productos de la combustión, los cuales principalmente son: bióxido de carbono, nitrógeno y agua. En la práctica el cálculo de la temperatura de la flama no se cumple por: (1) los datos de calores específicos no son exactos, (2) ocurre algo de disociación de los productos, (3) la flama irradia calor en una proporción del 5% al 20% y (4) hay calor que se pierde por convección y conducción. Por lo que se refiere a los puntos (3) y (4), éstas dependen de las condiciones específicas, pero el punto (2) puede ser -

calculado conociendo datos y aplicándolos donde sea posible, deduciendo el calor de disociación a partir del calor de combustión del gas.

En la práctica se logra una temperatura alta de flama por medio de: combustión rápida, reduciendo el exceso de aire a un mínimo y por precalentamiento. Un aumento de exceso de aire de 0% a 100% reduce la temperatura de flama.

TEMPERATURA DE IGNICION.- Para que se produzca la combustión es necesario que la temperatura en algún punto de la mezcla de oxígeno y combustible adquiriera un determinado valor puestos en contacto uno con el otro, a temperatura ambiente, pueden permanecer mezclados largo tiempo sin arder pero es suficiente que en un punto cualquiera de la mezcla se produzca una elevación de temperatura, provocada por un fósforo o por una chispa eléctrica, por ejemplo, para que comience la combustión, es decir, para que se produzca la inflamación debido a la elevación de la temperatura en ese punto, la oxidación del cuerpo que se produciría en forma muy lenta, se convierte en una combinación violenta.

Para que la combustión se propague al resto de la mezcla, es necesario que el calor desarrollado en el punto donde se produjo la inflamación sea capaz de calentar a las capas inmediatas de la mezcla hasta la temperatura de inflamación.

La velocidad de propagación del frente de combustión para una mezcla de hidrógeno y oxígeno es de unos -----

30 m/seg. Los valores máximos de propagación, a la temperatura atmosférica, para una mezcla de combustible y aire son:

Para el hidrógeno 12 m/seg.

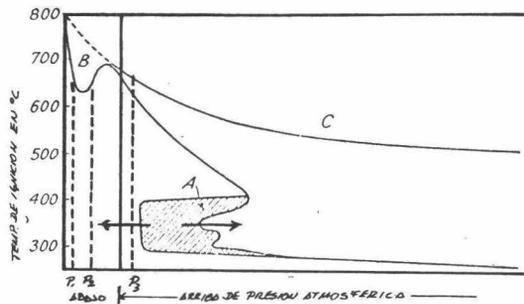
Para el óxido de carbono 1 m/seg.

Para el metano 1.5 m/seg.

Al disminuir las cantidades de oxígeno o de combustible de una mezcla, varía la velocidad de propagación del frente de flama, hasta que finalmente las cantidades de calor desarrollado ya no son suficientes para inflamar las capas vecinas. Al disminuir la velocidad de inflamación, aumentan las pérdidas de calor proporcionalmente al calor desarrollado. La propagación debe cesar para un valor finito de la velocidad de inflamación, por consiguiente la buena combustión está comprendida entre dos valores límites definidos de la velocidad de inflamación de la flama, y son los llamados límite inferior de inflamación, que se produce cuando falta combustible y el límite superior de inflamación que es cuando falta oxígeno, entre estos dos valores se encuentra la zona de inflamación, que es mayor cuando mayor sea la velocidad con que se desdobra la molécula del combustible y cuando mayor sea la presión.

La figura siguiente muestra la influencia de la presión sobre la temperatura de ignición de los gases. Abajo de la presión atmosférica algunos gases muestran el fenómeno de ignición en el área B, pero cerca de este punto los gases simples como metano, etileno, etc. muestran una disminución en la temperatura de ignición con un aumento de presión (C).

Con hidrocarburos mayores de tres carbonos, sucede el sistema de temperatura baja (A), lo cual da el fenómeno de flamas -- frías dentro del rango de 300°C a 400°C. Esto puede causar -- más o menos una ignición completa, pero arriba de los 400°C -- la temperatura de ignición es aquella dada por la curva (C).



Los valores de temperatura de ignición, para los -- gases simples, tanto en oxígeno como en el aire, están dados en la siguiente tabla:

Temperatura de Ignición de Mezclas Gaseosas en °C a Presión Atmosférica

GAS	EN OXIGENO	EN AIRE
Hidrógeno	560	572
Monóxido de Carbono	588	609
Metano	556	632
Etano	450	472
Etileno	485	490
Acetileno	296	305

Se observa que, en el caso de gases simples, ta--- les como hidrógeno y monóxido de carbono, las variaciones de temperatura de ignición son pequeñas; en el caso de gases de

los hidrocarburos esta diferencia de temperatura tiende a ser mayor.

VALOR CALORIFICO.- No obstante que hay muchos factores que deben ser considerados para seleccionar un combustible, una de las principales consideraciones debe ser el valor calorífico, este valor expresa las unidades cuantificadas de calorías que se tienen disponibles, y que harán posible la eficiencia de un trabajo útil. El valor calorífico de un combustible es el calor liberado por la combustión con oxígeno y la condensación de los productos a una determinada temperatura. Los valores pueden estar expresados en unidades estándar de calor, pero la unidad básica es el joule (10 ergs).

El valor calorífico si es para un gas, será expresado como el número de unidades de calor liberadas por la combustión a presión constante por la unidad de volumen saturado con vapor de agua, en este caso el aire y el gas están a la temperatura estándar y los productos se enfriarán a esta temperatura. La combustión deberá ser completa, por ejemplo, los productos no deberán tener otros que no sean óxido de carbono, óxidos de azufre, agua y nitrógeno.

El valor calorífico de los combustibles sólidos y líquidos normalmente se determina a volumen constante en un calorímetro, el cuál es capaz de resistir la presión desarrollada, así los productos se enfriarán a la temperatura del calorímetro.

En la siguiente tabla se dan los valores calorífi-

cos de algunos combustibles.

Combustible	KCal/m <sup>3</sup>
Hidrógeno	2,900
Monóxido de Carbono	2,860
Acido Sulfhídrico	5,750
Metano	9,000
Etano	17,000
Peopano	23,000
Butano	29,600
Combustóleo Ligero 300 (SSF)	9,722,000
Combustóleo Pesado (500 SSF)	10,276,000

AIRE TEORICO PARA LA COMBUSTION.- La regulación de los procesos de combustión, se basan por lo general, en el análisis de los gases de la combustión, realizados en un aparato sencillo del tipo Orsat que puede dar el contenido de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno, sobre una base de gas seco, el contenido de nitrógeno se obtiene por diferencia. Frecuentemente, cuando se usan aparatos automáticos para analizar los gases, sólo puede obtenerse el contenido de bióxido de carbono.

Teóricamente un kilogramo de combustible líquido - necesita 11 m<sup>3</sup> de aire para su combustión, es decir, un poco más de 14 Kg. de aire por Kg. de combustible. Prácticamente es preciso dar un exceso de aire que es alrededor del 15%.

La combustión económica se lleva a cabo cuando el

aire suficiente ha sido suministrado para oxidar solamente el combustible económicamente disponible. Como el gas es fácilmente mezclado con el aire se dice que se llega a una combustión completa, comercialmente puede operarse con un 0 a 10 - por ciento de exceso de aire. Los combustibles líquidos son menos fáciles de mezclar con el aire, requieren de 0 a 18 por ciento de exceso de aire. Los combustibles sólidos requieren del 12 al 50 por ciento de exceso de aire para una combustión económica.

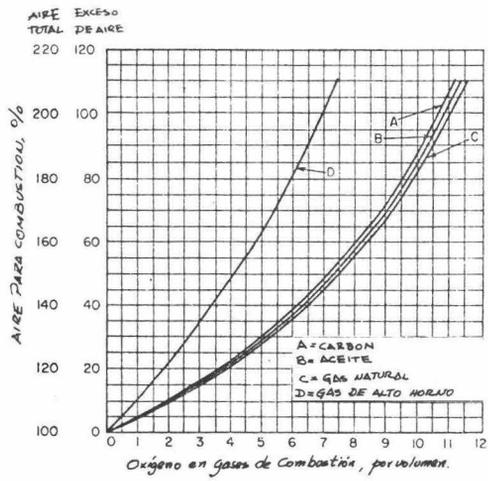
Se tienen varias fórmulas para determinar el exceso de aire, a continuación exponemos dos, la primera es usando el análisis Orsat:

$$\text{Aire Total} = \frac{\text{Por ciento } N_2(100)}{\text{Por ciento } N_2 - 3.78(\text{Por ciento } O_2)}$$

$$\text{Exceso de aire (por ciento)} = \frac{100(O_2)}{21 - O_2} K$$

donde K toma valores de 0.96 para carbón bituminoso, 0.95 para combustibles líquidos, 0.90 para combustibles gaseosos.

La siguiente figura muestra la relación de exceso de aire y oxígeno para varios combustibles.



## CAPITULO II

### EQUIPOS DE COMBUSTION

Como se mencionó en la introducción, los equipos de combustión que trataremos son equipos estacionarios como: las calderas, calentadores e incineradores. En este capítulo se hablará de los equipos antes mencionados, en una forma general, ya que en el último capítulo se hablará de una caldera que usa combustóleo como combustible, que es uno de los combustibles que más problemas presenta para realizar una combustión completa, dando por resultado la emisión de humos.

CALDERAS.- Son equipos básicamente para generar vapor, siendo éste un elemento esencial para la generación de energía eléctrica, procesos industriales o calefacción. De tal manera, la caldera es un recipiente a presión, diseñado para transmitir el calor procedente de una fuente externa, a un fluido dentro de la misma unidad, ese calor proviene de la combustión de algún combustible, produciendo con ello la generación de vapor. Generalmente el vapor es generado a presión de acuerdo con las características de las máquinas o procesos que alimenta.

TIPOS DE CALDERAS.- a) Calderas de Tubos de Humo  
Entre las calderas de tubos de humo, las más empleadas son -- las calderas verticales, las calderas horizontales de retorno, las calderas tipo marino, las calderas tipo locomotora, etc.

La figura 1, muestra una caldera de tubos de humo, llamada de retorno. Su posición es horizontal y el horno es exterior a la caldera, lo cual permite hacerlo de mayores dimensiones, construyéndolo de tabiques refractario.

El quemador se coloca en la parte baja del horno y la puerta sirve para la entrada de aire y para la observación de la flama.

Los gases pasan por el interior de los tubos, después de haber calentado la parte inferior del tambor y salen a la cámara de humo y a la chimenea.

Se tiene además una puerta de limpieza, la entrada de agua de alimentación, la llave de purga, el nivel, el manómetro y la válvula de seguridad. El vapor se acumula en la parte superior del tambor y sale por la tubería.

b) Calderas de Tubos de Agua.- Estas calderas se emplean para mayores capacidades y presiones que las de tubos de humo.

Hay un tambor que sirve para coleccionar el vapor formado y para retener cierta cantidad de agua, de manera que las fluctuaciones de demanda de vapor, no afecten mucho a la presión de la caldera. Este tambor puede resistir altas presiones con un espesor moderado, puesto que su diámetro es también moderado.

La figura 2 muestra una caldera de tubos de agua con tambor transversal a los tubos. El horno es alimentado

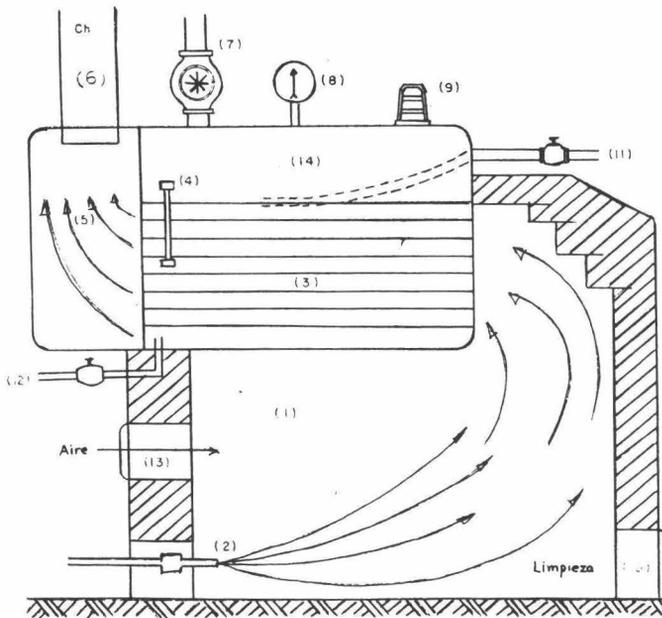


FIGURA 1.- Caldera de Tubos de Humo.

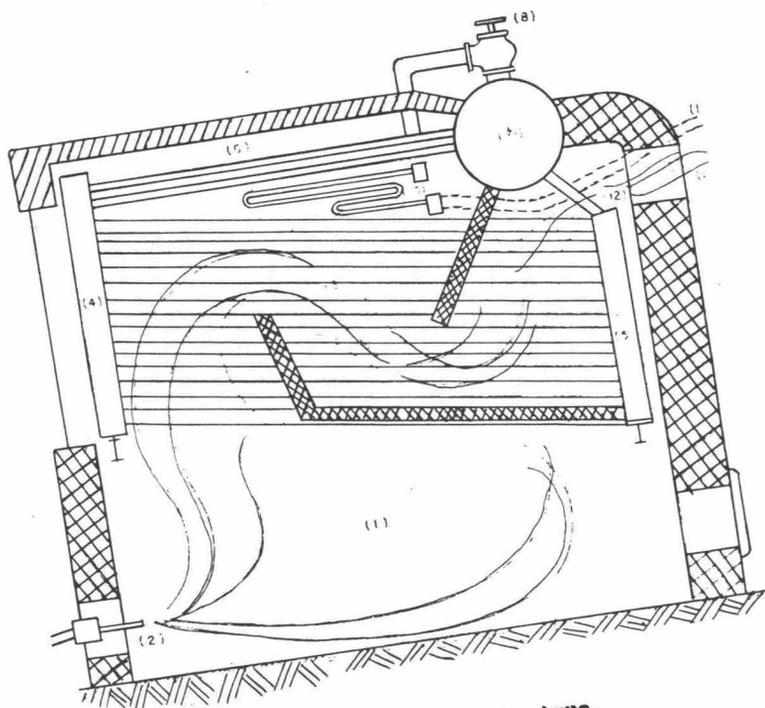


FIGURA 2.- Caldera de Tubos de Agua.

por el quemador y los gases de combustión siguen una trayectoria sinuosa, pasando entre los tubos de agua. Las barreras o mamparas sirven para guiar los gases que salen al final, por la puerta, a la chimenea.

La circulación de agua en este tipo de calderas es muy efectiva; el agua asciende por los tubos, debido a su menor densidad y a las burbujas de vapor formadas. El agua se junta en el colector y pasa al tambor a través de los tubos. Del tambor baja agua hacia el colector y de ahí pasa nuevamente a los tubos de agua.

El vapor reunido en el tambor sale por la válvula y pasa al sobrecalentador y de ahí al exterior.

c) Calderas de Tubos Curvos.- Para calderas de gran capacidad, se emplean generalmente las del tipo llamado de tubos curvos, que constan de varios tambores superiores y uno o dos tambores inferiores, unidos entre sí por varias ramas de tubos curvos. Estas calderas se clasifican según el número de tambores de que constan.

La figura 3 muestra una caldera de tubos curvos y consta de tres tambores superiores, en los cuales se acumula vapor. El vapor sale por la parte superior y las regiones de vapor de los tres tambores anteriores, están conectadas entre sí por los tubos superiores. El nivel del agua es el mismo en los tres tambores debido a que hay tubos inferiores que los conectan entre sí. Existen tres ramas de tubos curvos que comunican con el tambor inferior llamado tambor de lodos.

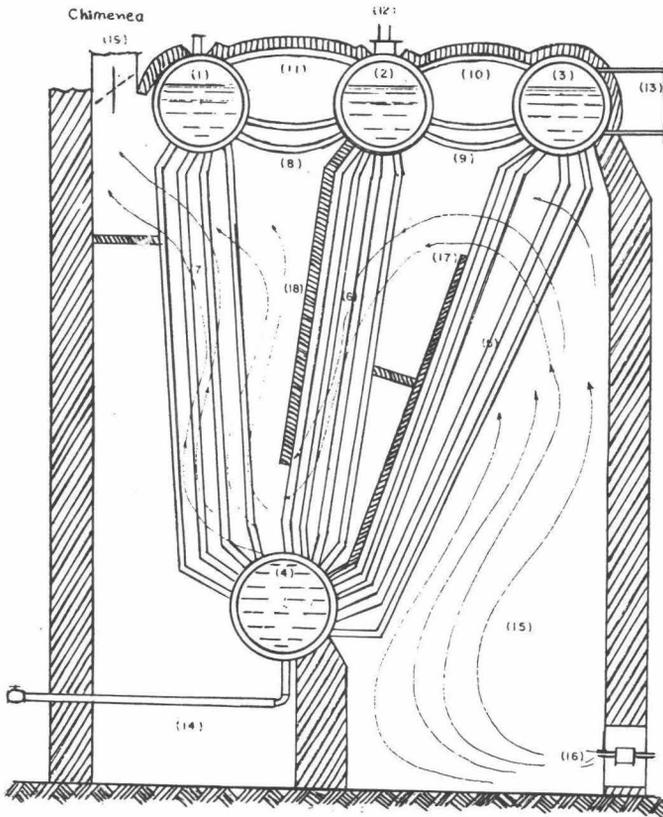


FIGURA 3.- Caldera de Tubos Curvos.

El agua circula muy eficazmente en esta caldera bajando por la rama de tubos del tambor número uno y subiendo por las ramas restantes. El agua de alimentación entra al tambor de lodos. Las mamparas guían los gases longitudinalmente a los grupos de tubos, de manera que pasen por todos ellos y salen finalmente por la chimenea.

COMPONENTES DEL GENERADOR.- Hogar.- Es el lugar de la caldera, donde se lleva a cabo la combustión del combustible, el cual al quemarse libera la energía contenida en él, en forma de calor para transmitirla a todas las superficies expuestas a él. El hogar debe estar diseñado en forma tal, que permita la contracción y dilatación del material con que está construido.

Para que exista transmisión de calor es necesario tener una diferencia de temperaturas, y esta diferencia de temperaturas se puede presentar de tres maneras:

Radiación.- Se presenta en el hogar de la caldera en el que los tubos que lo forman están expuestos a las flamas, recibiendo todo el calor por radiación.

Conducción.- Es el calor que recibe el tubo y lo transmite a través de la pared del mismo a el agua que circula dentro de éste para calentarla y evaporarla posteriormente.

Convección.- Se entiende como el calor que se recibe directamente de los gases, producto de la combustión, -

que en su recorrido hacia la chimenea transmiten su calor, entendiéndose por zona de conversión aquella que no recibe radiación directa.

**PAREDES DE AGUA.-** Se denominan paredes de agua a una serie de tubos que rodean al hogar, tanto por los lados - como por el piso o techo. Por el interior de estos tubos circula el agua y están conectados directamente a los tambores por medio de los cabezales. Estos fluxes, además de aumentar la capacidad de la caldera le disminuyen la temperatura al hogar, protegiendo así el refractario.

**TUBOS.-** Estos pueden ser rectos o curvos. Los - primeros están unidos entre si por cabezales que pueden ser - seccionados o de caja. Estos cabezales a su vez están unidos a tambores colectores de vapor.

Cuando son de tubos curvos, éstos van unidos en su parte superior, por el o los domos de vapor y en su parte inferior por el domo de lodos. Los tubos curvos permiten contracciones y expansiones, cualidades que los hacen muy ventajosos, y entran a los domos en dirección radial.

Los tubos expuestos al calor más fuerte se llaman de generación, pues son los que producen la mayor parte del - vapor. Los más alejados del fuego se llaman de circulación y es por donde baja el agua de los domos superiores.

**MAMPARAS.-** El flujo de gases de la caldera está controlado por las mamparas o deflectores, para obtener el má

ximo de aprovechamiento de la temperatura de los gases en su recorrido hacia la chimenea.

COLECTORES DE VAPOR.- Los colectores o domos tienen forma cilíndrica y están contruídos de acero. Las calderas de tubos rectos tienen uno o más domos situados en la parte superior. Estos colectores están unidos a los cabezales de los tubos de circulación.

Las calderas de tubos curvos tienen dos clases de colectores, los superiores llamados de vapor y el inferior - llamado de lodos, por ser donde se acumulan los sedimentos - del agua de alimentación.

Los tubos curvos unen directamente los domos superior e inferior. En el domo superior es donde se junta el vapor producido y de ahí pasa a la línea de consumo o al sobrecalentador.

El colector superior contiene agua y vapor en proporción igual, donde se instala el nivel de agua de la caldera, y es también donde entra el agua de alimentación.

COLECTOR INFERIOR.- También llamado domo de lodos existe sólo en las calderas de tubos curvos, pues en las de tubos rectos está reemplazado por cabezales de lodos. Es aquí donde se concentran las impurezas del agua de alimentación y desechos de los reactivos. Está provisto de una tubería de descarga con sus válvulas respectivas, que se llaman líneas de extracción o purga de fondo.

**SOBRECALENTADORES DE VAPOR.-** Los sobrecalentadores de vapor toman el vapor saturado del domo superior para elevar su temperatura.

Básicamente los sobrecalentadores son una serie de tubos que suelen colocarse entre los bancos de fluxes. Los gases calientan el vapor saturado y lo convierten en vapor sobrecalentado de alta temperatura. Las ventajas que se logran con los sobrecalentadores son:

- 1) Reducción de condensación en las líneas de vapor.
- 2) Reducción en la cantidad de vapor, si éste se usa para -- turbinas.
- 3) Eliminación de perjuicio a las últimas paletas de las -- turbinas debido a que no hay condensación.
- 4) Aumenta la capacidad de la turbina.

**ECONOMIZADORES.-** Son aparatos destinados a precalentar el agua de alimentación de la caldera, utilizando los gases calientes antes de que pasen rumbo a la chimenea.

**PRECALENTADORES DE AIRE.-** Son aparatos destinados para mejorar la combustión, utilizando para ello los gases de combustión antes de que salgan por la chimenea, mejorando también la eficiencia de la caldera. Los hay de dos tipos:

- 1.- Fijos.- En contacto con los gases de combustión por medio de un tubo o bien placas de acero por un lado y por el otro, en contacto con el aire que proviene del tiro forzado.

2.- Regenerativo.- Con superficie movable, la cual está en contacto alternativamente con los gases y el aire que viene del tiro forzado.

TIROS.- Para mantener la combustión es indispensable suministrar aire y sacar los productos de la combustión. El flujo de los gases es originado por la diferencia de presión entre el hogar y el punto de escape de los gases de la caldera o sea el tiro.

En una caldera que tenga tiro natural, este paso del aire se efectúa porque el peso del aire caliente que está en la chimenea es menor que el peso del aire que entra al hogar. Este tipo de tiro natural es empleado por lo regular en calderas pequeñas, se regula con una compuerta situada en la chimenea.

En las grandes calderas el tiro se hace por medios mecánicos, esto es, por medio de ventiladores que establecen una corriente de aire y gases. Hay tres tipos de tiro mecánico, el tiro inducido, el tiro forzado y una combinación de ambos.

Con el tiro inducido, se extraen gases de combustión, estableciendo así una presión menor que la atmosférica en el interior del hogar. Con el tiro forzado se crea una presión mayor que la atmosférica en el hogar. En ambos casos es necesario mantener el hogar herméticamente sellado, evitando al máximo las ranuras que pudieran existir ya que esto provocaría una mala combustión, pues se tendrían entradas o salidas

das falsas de aire.

En el tiro combinado es conveniente, tener lo que se llama un tiro balanceado, o sea, que se mantengan el hogar a una presión ligeramente menor a la presión atmosférica. -- Desde el punto de vista de la seguridad del personal, ésto es importante, ya que elimina el peligro de que retrocedan las llamas.

CHIMENEA.- La chimenea tiene por objeto descargar los productos de la combustión a una altura suficiente, a fin de evitar en lo posible las molestias correspondientes. -- Las dimensiones deben de ser tales, que aseguren el flujo de gases y deben estar bien soportadas y ancladas, para evitar su caída provocada por vientos fuertes.

QUEMADORES.- Hay muchas clases de quemadores, algunos de ellos se prestan para cierta clase de servicios y -- otros para otra clase. Se pueden clasificar del modo siguiente:

1) Quemadores que usan vapor como medio atomizante.- Estos son generalmente los más sencillos, pueden quemar petróleos muy viscosos, siendo la atomización muy completa. Consumen -- aproximadamente el 2% de la producción de vapor de la caldera y la presión del vapor debe ser de unas 40 a 80 lb/plg<sup>2</sup>. El vapor debe llegar al quemador lo más seco que sea posible.

La ventaja de atomizar con vapor es que no se necesita de equipo extra, pues la misma caldera produce el vapor necesario. La desventaja estriba en el consumo de el agua de



FIG.4.- Quemador de Vapor  
Mezcla interior.

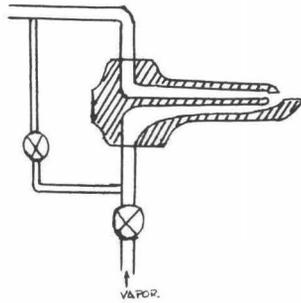


FIG. 5 Quemador de Vapor  
Mezcla exterior.

alimentación en un 2%, y ésto es un inconveniente, por ejemplo en los barcos, cuyo medio de tracción es el vapor.

Los quemadores de vapor pueden clasificarse en --- quemadores de mezcla interior, figura 4, y quemadores de mezcla exterior, figura 5. En los primeros el vapor entra por el ducto y se expande en una tobera, adquiriendo gran velocidad y arrastrando consigo las partículas de combustible que entran por el ducto inferior. La mezcla de petróleo y vapor sale por el ducto del lado derecho.

2) Quemadores que usan aire de alta presión.- Este tipo de quemadores son de un diseño igual a los que usan vapor. La -- presión del aire debe ser igual y el petróleo puede fluir al quemador por gravedad o con una ligera presión. Son útiles para la alimentación de hornos industriales en donde no hay vapor. También se usan cuando no se quiere consumir el agua de alimentación. Con este sistema de quemadores se requiere de una planta de aire comprimido o simplemente de una compresora.

3) Quemadores de Inyección Directa.- En este tipo, el combustible es inyectado a una presión que varía entre  $5.3 \text{ Kg/cm}^2$  y  $14 \text{ Kg/cm}^2$  y no se usa aire ni vapor como medio atomizante. El petróleo pasa por orificios y ranuras pequeñas que lo obligan a dividirse en partículas muy finas.

4) Quemadores de Atomización Centrífuga.- En esta clase de quemador, ilustrado por la figura 6, el combustible es alimentado por el tubo (1) a la cámara (2), de la cual parte por el

tubo giratorio (3), al cono (4), de donde sale tangencialmente a gran velocidad debido a la rotación de dicho cono.

El tubo giratorio (3) está movido por un motor eléctrico (5) a gran velocidad, y sobre dicho tubo está montado también un ventilador centrífugo (7), cuyo objeto es inyectar al horno parte del aire de combustión.

La trayectoria que sigue el aire, es por el ducto (6) a la cámara de presión (8) y la salida por (9), en donde se encuentra a  $90^{\circ}\text{C}$  con las gotas de petróleo que salen del cono (4). La mezcla entre las gotas y el aire es bastante completa. El engrane (10) sirve para mover la bomba que da algo de presión al combustible.

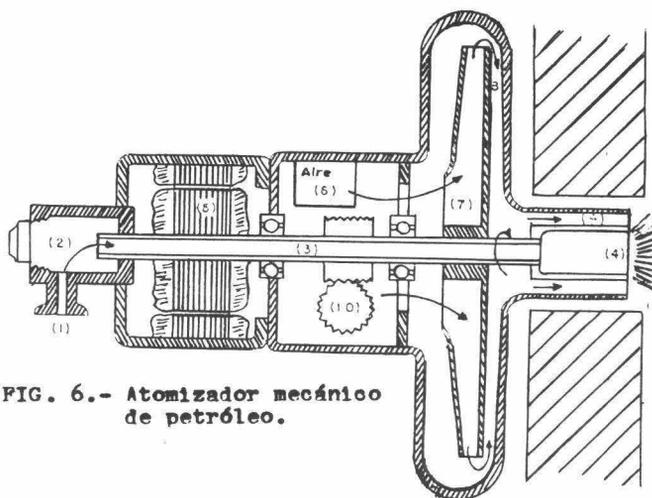


FIG. 6.- Atomizador mecánico de petróleo.

INCINERACION.- Los incineradores de basura usualmente se clasifican como: (1) Domésticos, (2) De Cañón, (3) Comerciales e Industriales, (4) Municipales, (5) Incineradores para propósitos especiales. Obviamente éste es un esquema general de la clasificación con un rango de tipo en cada clase.

1) Incineradores Domésticos.- Son usados para depositar la basura y desperdicios de residencias familiares. El tipo más común consiste de un depósito cerrado en el cual la basura es apilada. El aire entra por ambos lados, por abajo de la rejilla y por arriba de la carga por tiro natural.

Un método para incrementar la eficiencia de los incineradores domésticos, es usar un combustible auxiliar preferentemente gas natural o manufacturado, incrementa la temperatura en la unidad y provee de calor para la deshidratación de la carga.

2) De Cañón.- Uno de los tipos más objetivos de incineradores desde el punto de vista de contaminación del aire es el incinerador tipo cañón usado en casas de apartamentos. Tres tipos básicos son mostrados en la figura 7. El mayor problema al operar estas unidades es causado por la humedad de la basura sobre la rejilla, causando la salida de hollín por la chimenea. Además, la humedad de la basura es parcialmente destilada antes de una calcinación completa dando olores y emisión de humo. La única solución satisfactoria a este problema es la instalación de lavadores de gases y colec

tores de polvo a la salida de la chimenea y materiales que -  
eliminen el olor.

3) Incineradores Comerciales e Industriales.- In-  
cluye una amplia variedad de diseños de pequeños incinerado-  
res hasta grandes unidades para la calcinación específica de  
materiales, tales como basura de madera, aserrín, etc. Tres  
tipos básicos se muestran en la figura No. 8. En cada tipo -  
la carga es alimentada sobre una rejilla en una cámara de com-  
bustión primaria; hay una cámara de combustión secundaria pa-  
ra la combustión de gases, algunas veces provista de un com-  
bustible auxiliar. Aun cuando se cuente con una cámara de -  
combustión secundaria, un problema considerable es el hollín  
que sale con el flujo de gases, en ocasiones se colocan baffles  
para permitir el asentamiento de las partículas.

4) Incineradores Municipales.- Muchos diseños di-  
ferentes de incineradores municipales son eficaces, de hecho,  
unidades idénticas son difícil de encontrar. Básicamente to-  
dos éstos deberán tener un medio de carga de basura, y cáma-  
ras de combustión primaria y secundaria (con o sin combusti-  
ble auxiliar), una chimenea para la descarga de gases y un me-  
dio para remover cenizas. Varias combinaciones son posibles;  
la selección más apropiada depende de la naturaleza y volumen  
de la basura que será calcinada. Desafortunadamente, las con-  
sideraciones de contaminación ambiental son raramente tomadas  
en cuenta en el diseño de la planta.

5) Incineradores para Propósitos Especiales.- In

cluye diseño para calcinar basura de madera, para remover com bustible líquido y brea de jarras y tambores (Figura No. 9), para remover cubiertas orgánicas de residuos metálicos (Figura No. 10). El incinerador tipo Silo es muy usado para reducir basura de madera (Figura No. 11). Usualmente este tipo - de incineradores es insatisfactorio desde el punto de vista de contaminación ambiental.

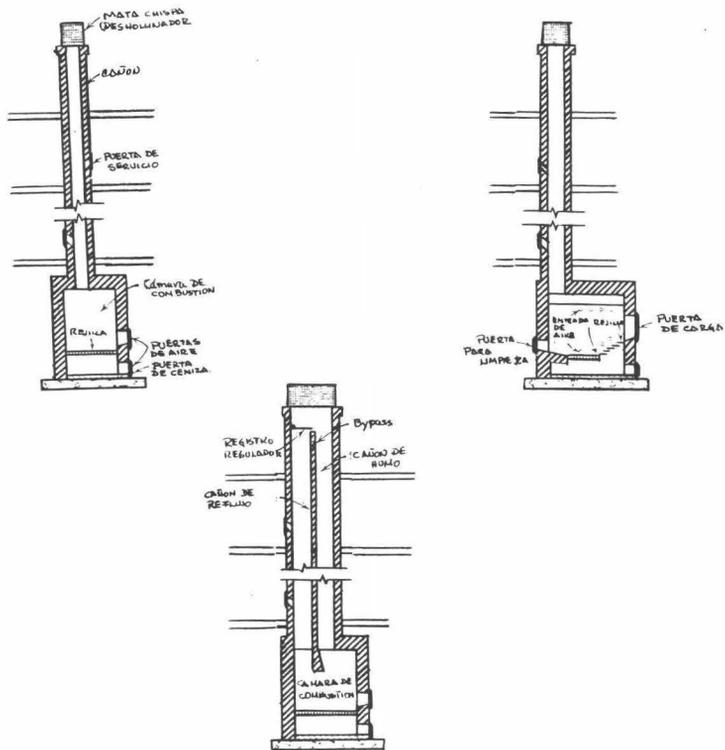


FIGURA 7.- Incineradores de Cañón.

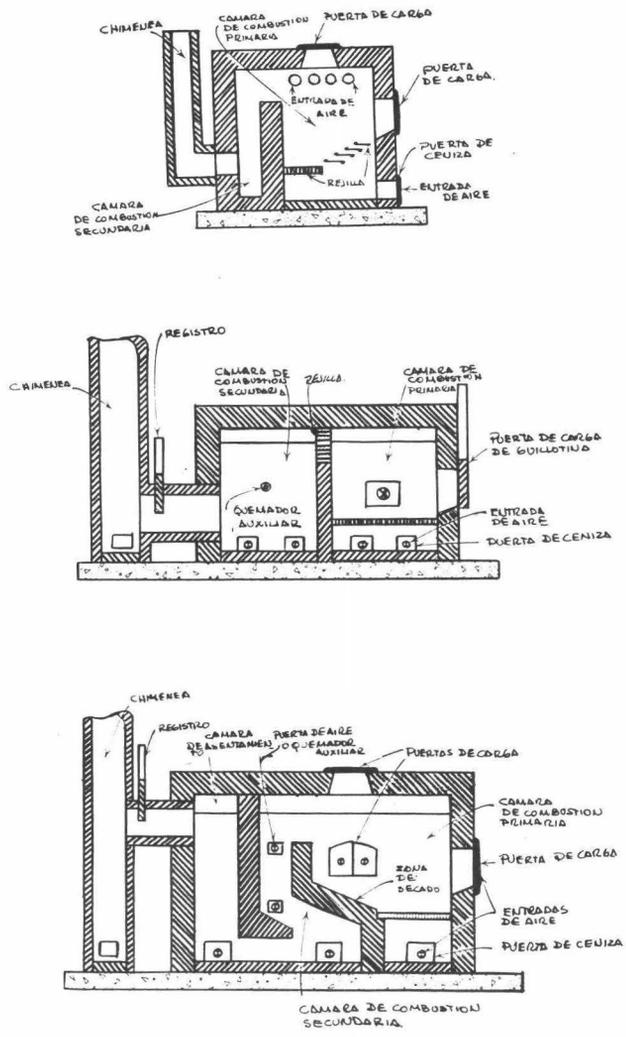


FIGURA 8.- Incineradores Comerciales

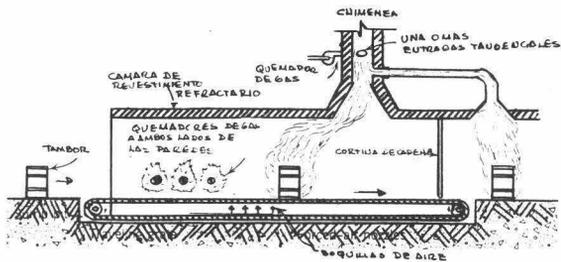


FIGURA.- 9.

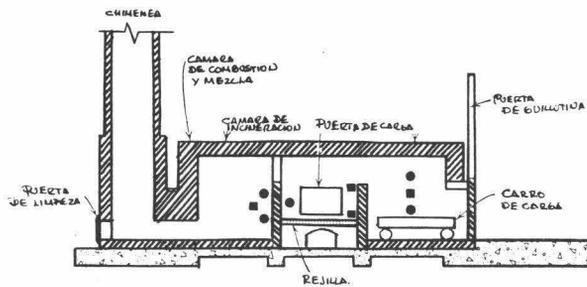


FIGURA 10.

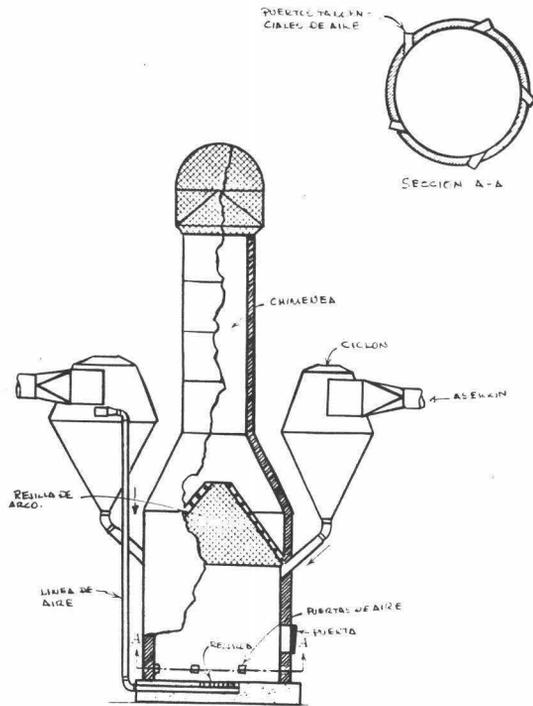


FIGURA 11.

### CAPITULO III

#### HUMO VISIBLE

CARACTERISTICAS DEL HUMO.- El humo negro es producido particularmente por la combustión incompleta de combustibles carbonáceos. Físicamente éste consiste de finas partículas (0.01 a 1.0 $\mu$ ) de hollín que está contenido en la corriente de aire y flujo de gases. Bajo el microscopio las partículas carbonáceas aparecen como aglomerados de bolas porosas. - En muchos casos, las partículas no son de carbón puro ya que contienen grandes condensados de hidrocarburos aromáticos de bajo contenido de hidrógeno tales como antraceno y sus derivados.

Como el hollín en el humo es un material no gaseoso, se presenta en la atmósfera en forma de partículas, este término involucra polvo, humo y neblina. Aunque estas partículas de humo son grandes partículas de carbono, se encuentran presentes también otro tipo de partículas como aceite. - Ambos humos de carbón y aceite contienen cenizas de los materiales no combustibles. El humo además contiene aerosoles líquidos de productos de materiales volátiles. El resto de las partículas es particularmente visible en el fuego y es de color amarillo café. El color azul del humo a partir de la quema de basura y madera refleja muy finos y divididos aerosoles de ácidos piroleñosos y brea; el carbón libre no está presente en grandes cantidades. El término humo blanco es un nombre falso, tales humos son usualmente vapor de agua o aere

soles orgánicos finamente divididos, tales como aceite combustible atomizado.

FORMACION DEL HUMO.- El humo es producido cuando la combustión del combustible usado y el método de quema es - tal que resulta una combustión incompleta. Todos los combustibles pueden ser quemados para que produzcan la menor cantidad de humo; algunos con mayor dificultad que otros. Unos pocos son llamados combustibles bajos en humo, tales como el coque y el carbón de leña que normalmente nunca producen humo. Otros, tales como el gas natural pueden hacer humo, pero usualmente son quemados para que produzcan la menor cantidad de humo con facilidad.

Un combustible produce humo cuando éste se calienta a una temperatura lo suficientemente alta para descomponerse una parte en carbón finamente dividido y otros productos, pero esto no sucede en presencia de suficiente oxígeno. Los gases de combustión deben tener suficiente aire, a una temperatura bastante alta o se descompondrán para formar carbón libre. Los humos de combustibles líquidos atomizados y gaseosos se producen cuando la presencia de aire es insuficiente, cuando el combustible y el aire están pobremente mezclados o cuando la flama está fría antes de una combustión completa. En cada uno de estos casos el combustible no quemado es fraccionado a carbón o hidrógeno, con la formación de carbón que es un constituyente básico del humo.

Los requerimientos fundamentales para menos humo

en la combustión son: suficiente temperatura, suficiente tiempo, turbulencia adecuada para buena mezcla, y una suficiente dotación de oxígeno. Estas son comúnmente referidas como T. T. y O. Para lograr ésto se debe tener el equipo diseñado y operando dentro de las especificaciones del combustible empleado.

El combustible por sí es importante, no unicamente de la contaminación del aire, sino también en materia económica. El humo representa pérdida de calor; así como un desperdicio de energía. Estos son motivos suficientes para su abastecimiento.

Los combustibles empleados en la calefacción pueden dividirse en siete clases: Antracita, Carbón bituminoso duro, Carbón bituminoso blando, Coque, Petróleo, Gas y Madera.

ANTRACITA.- La mejor antracita consta principalmente de carbón con una pequeña cantidad de hidrógeno, por lo general se expende en trozos pequeños y tiene una superficie de brillo metálico. Es de difícil encendido, al colocarla sobre fuego vivo los trozos tienden a deshacerse, pero al calentarse lentamente esto no sucede. Produce poca llama la cual es azul, semejante a la llama del coque y produce un calor muy intenso, siendo un excelente combustible al mezclarse con -- igual cantidad de coque.

CARBONES BITUMINOSOS.- Son de calidad llamada -- pastosa. Contienen hidrocarburos volátiles de un 10 a 15% de su peso. Su combustión es sumamente rápida, y son de fácil -

ignición, al quemarse producen llamas largas y gran cantidad de humo y hollín, por este motivo son poco usados en calderas de calefacción, pero con el empleo de un cargador automático estos carbones han sido usados en ciertas calderas.

COQUE.- Contiene muy pequeña cantidad de hidrógeno, salvo en forma de agua, la cual absorbe en grandes cantidades, contiene hasta un 95% de carbón, no produce humo negro y es de buena calidad, produce gran cantidad de calor; son -- lentas y sin vida en el fogón y producen gran cantidad de ceniza.

COMBUSTIBLE LIQUIDO.- Es algo más caro que los combustibles sólidos y el costo de los quemadores es más elevado además hay gastos de conservación, por otra parte ahorra trabajo, es limpio y puede ser guardado en espacio más reducido que el combustible sólido; debido a su fácil manipuleo y sus características especiales de combustión, el combustible líquido es uno de los pocos combustibles que se prestan para el control automático; para el consumidor, el rendimiento del quemador es medido por la cantidad de calor útil suministrado por cada peso gastado en el combustible y la conservación del quemador.

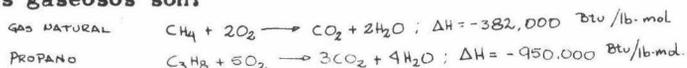
Los combustibles líquidos son generalmente precalentados para disminuir su viscosidad, para tener una mayor fluidez en la tubería y son atomizados mecánicamente o por medio de vapor para lograr una buena combustión.

COMBUSTIBLE GASEOSO.- Es un combustible que di--

riamente se está empleando en mayor cantidad en las unidades de combustión, es también un combustible que se presta admirablemente para el control automático de temperatura y tiempo de funcionamiento por medio de un termostato y reloj. Las ventajas son: absoluta limpieza, no requiere de grandes espacios para almacenarse y en algunos casos ninguno.

La combustión de gases requiere solamente premezcla con una cantidad adecuada de aire y que no haya interferencia con la flama de quema.

Las reacciones típicas de combustión de combustibles gaseosos son:



MADERA.- Un caso especial se puede considerar la quema de madera, aunque para lograr una combustión baja en contenido de humo, se tiene que seguir los mismos métodos requeridos para el carbón, tomando en cuenta las características propias de la madera, ya que el alto contenido de humedad de la madera requiere una zona primaria de secado incorporada en el horno.

Además la relación de aire secundario y aire primario a través de la rejilla es más grande comparada con los hornos de carbón. La naturaleza de la materia volátil de la madera también hace necesario suministrar más espacio de combustión secundaria.

BASURA.- Otro caso especial de combustión de sólidos, la cual tiene importancia en el control de la contaminación atmosférica, es la quema de basura proveniente de casas habitación, bodegas o industrias. El proceso es llevado a cabo generalmente en unidades llamadas incineradores o destructores. Diferente a la combustión común, el objetivo no es - crear calor ni potencia, sino una reducción del volumen de basura. La eficiencia de la combustión no ha sido el objetivo, y como consecuencia, el humo, la ceniza y el olor, han resultado de esta mala combustión. En algunos casos los problemas de olor y ceniza son más graves que el problema del humo.

Probablemente la gravedad del problema en los diseños de incineradores sea la amplia variación en el contenido de humedad, densidad, forma física y valor calorífico de los materiales comunes de la basura. Estos materiales han sido - clasificados tentativamente por la Air Pollution Control Association como sigue:

Tipo I.- Consiste de basura combustible, tal como papel, trapo, hierba, hojas, aserrín de madera, basura comunmente que se colecta en actividades domésticas, comerciales e industriales. Puede contener arriba de un 10% de sólidos no combustibles y arriba de 25% de humedad, tiene un valor calorífico entre 5,500 y 8,500 BTU/Lb al quemarse.

Tipo II.- Consiste de basuras animales y vegetales de restaurantes, cafeterías, hoteles, mercados e instalaciones similares. Contiene hasta un 35% de humedad y hasta -

un 5% de sólidos no combustibles y tiene un poder calorífico abajo de 1,000 BTU/ Lb al quemarse.

Tipo III.- Consiste de órganos y sólidos orgánicos de hospitales, laboratorios, mataderos, rastros y fuentes similares.

Tipo IV.- Consiste de desperdicios gaseosos, líquidos y semilíquidos de operaciones industriales e incluye materiales nocivos y tóxicos, tales como brea, pinturas, solventes y vapores de proceso de calentamiento. El valor calorífico dependerá sobre el material en particular que se use.

Tipo V.- Consiste de basuras sólidas de operaciones industriales, tales como caucho, plásticos, desperdicio de madera y materiales nocivos y tóxicos. El valor calorífico dependerá del material a quemar.

Encontrar un método adecuado para eliminar las basuras es el problema más importante en las comunidades urbanas. En lugares apartados, la basura es eliminada por quema a cielo abierto. En algunas áreas ha sido adaptado el método de relleno sanitario. El método de relleno sanitario es restringido por supuesto, a las comunidades donde los sitios adecuados para esto son aprovechados para otra función. En última instancia, la reducción por calcinación en incineradores bien diseñados, privados y municipales, probablemente será la más satisfactoria solución en la mayoría de los casos.

CARTA DE HUMO DE RINGELMANN.- La carta es un di-

bujo con cuatro imágenes (tarjetas), que proporcionan cuatro tonalidades grises graduadas, intermedias entre el blanco y el negro. Estas imágenes se pueden reproducir exactamente por medio de retículas, dibujadas con líneas negras, de anchura y espacios definidos, sobre un fondo blanco, de acuerdo a lo siguiente:

TARJETA NUM.	DISEÑO
0	Toda blanca.
1	Líneas negras de 1 mm de ancho, - separadas por espacios cuadrados blancos, de 9 mm por lado.
2	Líneas negras de 2.3 mm de ancho, separadas por espacios cuadrados blancos, de 7.7 mm por lado.
3	Líneas negras de 3.7 mm de ancho, separadas por espacios cuadrados blancos, de 6.3 mm por lado.
4	Líneas negras de 5.5 mm de ancho, separadas por espacios cuadrados blancos, de 4.5 mm por lado.
5	Toda negra.

Cada retícula debe estar formada por 15 líneas negras verticales y 22 horizontales. La carta debe integrarse con las tarjetas en posición vertical, adyacentes, en orden -

progresivo y con las retículas separadas entre sí por espacios blancos de 11.5 mm de ancho.

Procedimiento de Medición.- Al efectuar comparaciones diurnas, el observador debe colocarse a una distancia no menor de 30 m. ni mayor de 400 m. del cañón de la chimenea. - El sol debe quedar, preferentemente, a espaldas del observador. Durante las horas de obscuridad debe utilizarse una fuente de luz situada detrás de la pluma de humo, siendo el frente de ésta el que observa el operador.

Se coloca la carta lo más próxima posible a la línea de la visual del observador a la pluma, perpendicular a dicha línea y a una distancia tal del observador, que las retículas en la carta aparezcan como campos grises uniformes - (18 m. aproximadamente).

Se mira hacia la parte más densa de la pluma, en donde está tiene el mismo diámetro que la salida de la chimenea, y se compara su color con los tonos de la carta. En el caso en que exista vapor de agua en la pluma, la lectura debe hacerse en el punto donde se haya disipado el vapor. Siempre que sea posible, la línea de la visual debe quedar en ángulo recto con relación a la dirección del viento.

Obtención de Lecturas.- Cada lectura individual se obtiene determinando el número de la tarjeta cuyo tono sea el más cercano al del humo observado. En los casos en que el humo sea más claro que la tarjeta número uno, se le debe --- asignar el valor cero; si es más oscuro que la tarjeta núme-

TAL.- El Reglamento de Humos y Polvos publicado el 17 de Septiembre de 1971 y en su etapa aplicativa el 17 de Mayo de -- 1974, en los artículos del 9 al 12, menciona:

Artículo 9.- Se prohíbe la combustión a cielo --- abierto, excepto en los casos siguientes:

I.- Cuando se efectúe con permiso de la autoridad competente, para:

- a) Instruir sobre procedimientos que tengan como fin combatir el fuego; y
- b) Destruir materiales peligrosos que no sea posible eliminar por otros medios, sin causar un riesgo.

II.- Cuando se trate de prevenir la propagación - del fuego que no pueda ser suprimido de otro modo;

III.- Cuando sea indispensable en los procesos - agrícolas;

IV.- Cuando se trate de evitar la suspensión to-- tal o parcial de un servicio público;

V.- Por razones sanitarias de interés colectivo.

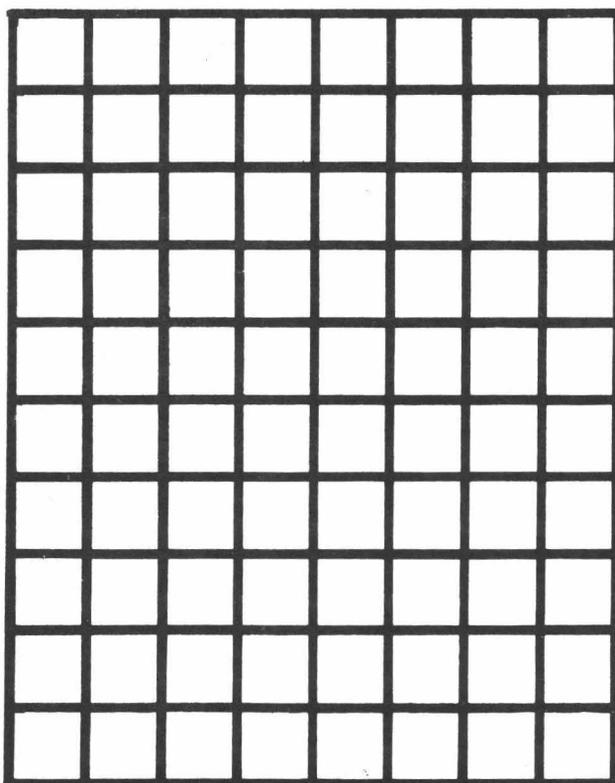
VI.- Con fines de construcción o demolición en - obras de interés público; y

VII.- Cuando el fuego se use para cocinar al aire libre y no provoque molestias.

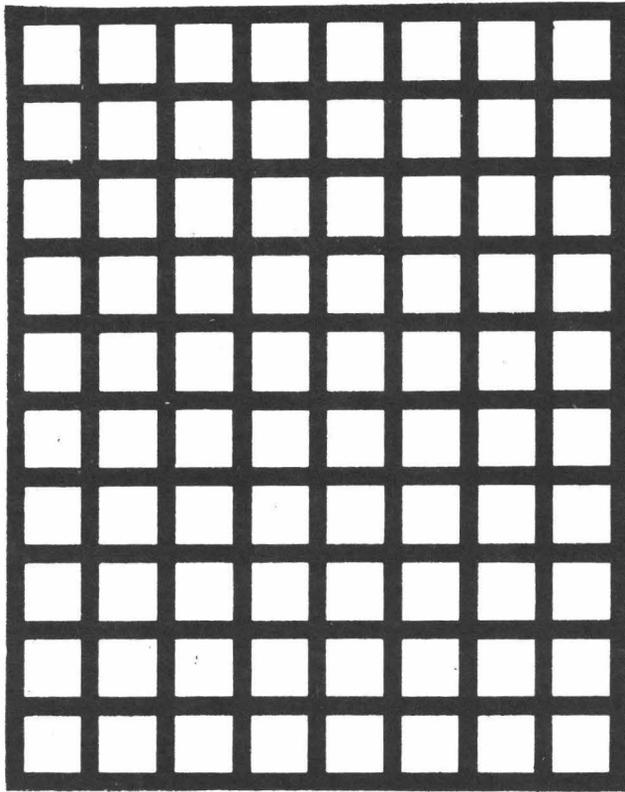
Artículo 10.- Las emisiones de humo, provenientes de equipos estacionarios de combustión existentes, con exclusión de incineradores, no deberán ser más oscuros en apariencia que la señalada con el número dos en la escala conocida como Carta de Humo de Ringelmann, ni de tal opacidad que oscurezcan la visión del observador, en un grado mayor que el humo correspondiente al número dos de la Carta mencionada; - en ninguno de ambos casos, las emisiones deberán exceder de períodos de más de cinco minutos en una hora.

Artículo 11.- Las emisiones de humo, provenientes de equipos estacionarios de combustión nuevos, con exclusión de incineradores, no deberán ser más oscuras en apariencia que la señalada por el número dos de la Carta de Humo de Ringelmann, ni de tal opacidad que oscurezcan la visión del observador en un grado mayor que el humo correspondiente al número dos de la mencionada Carta, excepto en períodos de -- arranque, siempre que no excedan de tres minutos.

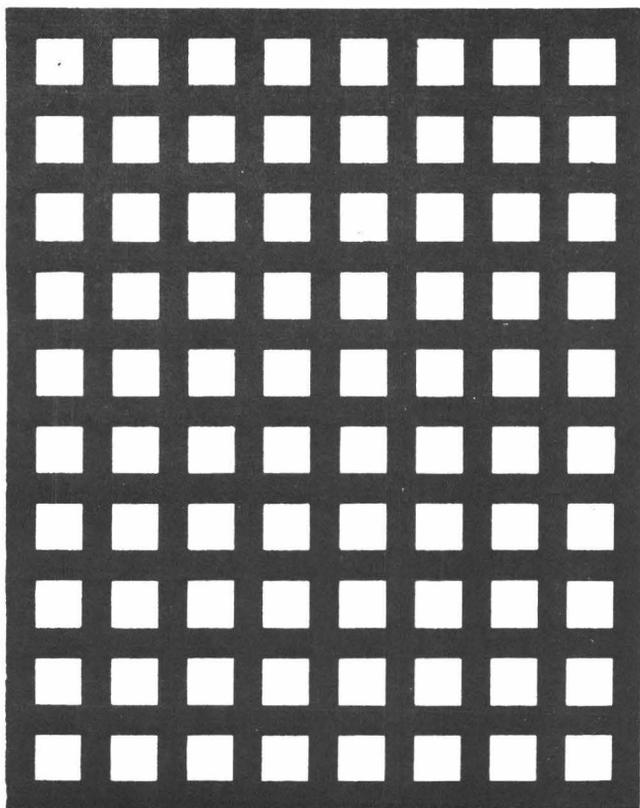
Artículo 12.- Las emisiones de humo, provenientes de incineradores, no deberán ser más oscuras en apariencia que la señalada por el número dos de la Carta de Humo de Ringelmann, ni de tal opacidad, que oscurezcan la visión del observador en un grado mayor que el humo correspondiente al número dos de la Carta mencionada, excepto en períodos cuya duración sea de tres minutos en una hora.



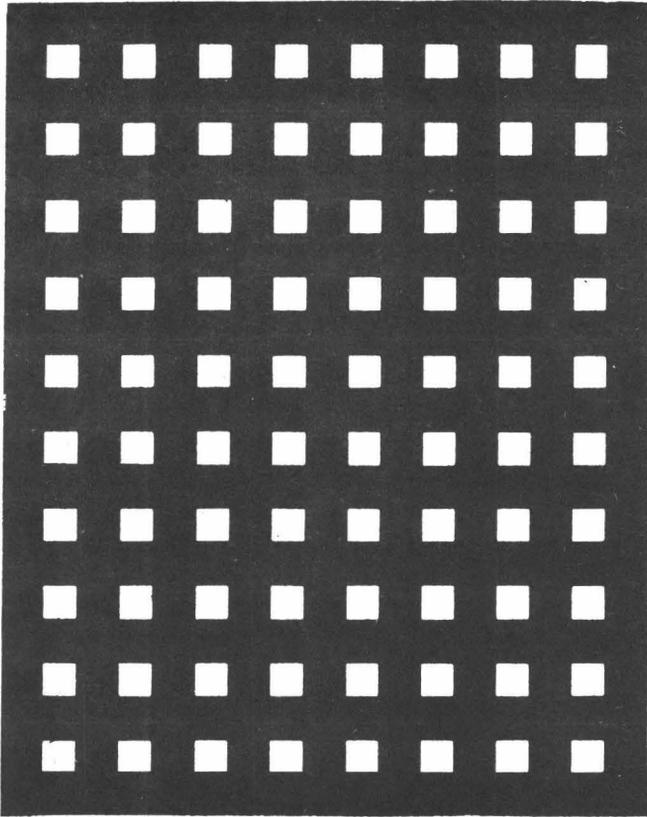
TARJETA 1.- Equivalente al 20% de densidad.



TARJETA 2.- Equivalente al 40% de densidad.



TARJETA 3.- Equivalente al 60% de densidad.



TARJETA 4.- Equivalente al 80% de densidad.

## CAPITULO IV.

### METODOS PARA MEJORAR LA COMBUSTION

El humo de una caldera se produce por una mala combustión. El petróleo pesado o combustóleo no quemará bien y producirá humos cuando:

El Petróleo está demasiado frío para ser aplicado.

Demasiado petróleo entra a la vez en el quemador.

No hay aire suficiente para una buena combustión.

La copa del quemador no está en perfectas condiciones.

En México, según se vió en el capítulo anterior, - se exige por medio del Reglamento de Humos y Polvos, que todas las calderas estén en condiciones de evitar los problemas anteriores, ya que la opacidad máxima permitida, según la Carta de Humo de Ringelmann, es la tarjeta Número Dos en un lapso - no mayor de cinco minutos en una hora. Para asegurar que una caldera quema bien debe:

Tener calentadores en las tuberías del combustible para mantener el petróleo caliente.

Controladores que proporcionen la debida entrada de aire y petróleo.

Un compartimiento de aire de determinado tamaño y diseño.

Aunque no solamente basta tener una caldera en -- buenas condiciones, sino también un operador que las sepa manejar. En seguida se enlistan una serie de condiciones que -- se deben seguir todos los días para evitar la emisión de humos:

Verificar las tuberías del combustible y el -- horno por posibles escapes de petróleo.

Verificar la forma en que arde la llama.

Verificar y corregir la presión del petróleo.

Limpiar las entradas de aire del hogar de la caldera.

Verificar y corregir la temperatura del petróleo.

Verificar y limpiar la copa del quemador.

Verificar el funcionamiento de todos los reguladores de tiro.

QUEMADOR.- El quemador es una parte muy importante de la caldera. La mayoría de ellos son de copa rotatoria y tienen cuatro partes esenciales en donde se debe tener mucho cuidado.

El muelle de la copa.

Una válvula que hay en la copa.

El ventilador de aire primario a un lado del quemador.

Una bisagra especial que abre el quemador.

La bobina de la copa recibe el petróleo en una corriente fina desde la válvula del combustible y lo convierte

en un líquido pulverizado para ser aplicado y quemado. La copa está unida a una espiral giratoria que rodea las tuberías del combustible y la válvula. Esta copa se extiende ligeramente hasta el horno y gira rápidamente cuando el quemador esta funcionando. La válvula y la copa deben mantenerse limpios en todo momento.

El ventilador de aire primario toma el aire a través de un cerrador situado a un lado del quemador y lo lanza sobre el petróleo que ya ha sido pulverizado mientras se quema en el horno. Este sistema primario de aire está diseñado para introducir exactamente la cantidad de aire necesario para obtener una buena combustión. Para mantenerlo funcionando como es debido, el ventilador debe de estar limpio, la correa o engranaje que le hace funcionar en perfectas condiciones y el cerrador de aire, limpio y en estado de poder abrirse y -- cerrarse debidamente.

La bisagra del quemador permite que el quemador -- pueda ser sacado fuera del horno para que la limpieza o la reparación puedan ser realizadas sin tener que desconectar los tubos del petróleo.

Casi todos los quemadores tienen una o dos llaves giratorias que fácilmente desconectan los cables eléctricos. Cuando se quiera sacar el quemador del horno es necesario colocar una tapadera en la abertura, para evitar que el refractario se dañe al enfriarse.

PRECALENTADORES.- Los precalentadores son neces

rios porque el petróleo pesado no fluirá a temperaturas normales y no puede ser aplicado para ser quemado a menos que esté muy caliente. Normalmente debe alcanzar temperaturas de - - 82.2 °C, pero sin embargo los nuevos petróleos con poco azufre deben ser calentados a temperaturas más bajas. A fin de obtener la temperatura que el petróleo requiere, se debe saber - que tipo de petróleo se está utilizando. El funcionamiento de la caldera se verá activado al menos, por dos precalentadores.

Un precalentador eléctrico situado en la tubería - del petróleo abastece al quemador y controla su temperatura - por medio de un termostato. A esto se le llama un precalenta- dor secundario. Los precalentadores de este tipo mantienen - una temperatura ligada en el petróleo que hace que el quema-- dor deje de funcionar cuando no tiene suficiente temperatura. Un segundo precalentador eléctrico puede instalarse para man- tener el petróleo caliente en las tuberías cuando el quemador no se encuentre ardiendo. Se debe colocar un termómetro en-- tre el calentador y la caldera.

Algunos modelos tienen precalentadores de vapor o de agua caliente; de vapor utilizan  $0.14 \text{ Kg/cm}^2$  cuando menos o si no agua caliente de la caldera. De esta forma el calenta- dor primario del sistema puede ser activado en forma muy -- económica. El vapor o agua caliente de los precalentadores deben verificarse ya que de haber el menor escape de petróleo en ellos, podría ser peligroso. Estos precalentadores tienen que ser limpiados y vaciados regularmente para impedir la acu- mulación de residuos.

**SISTEMA DE AIRE EN UNA CALDERA.-** Es importantísimo para controlar las emisiones de humo e igualmente para economizar combustible, establecer la cantidad de aire necesario para una buena combustión y debe consistir de tres partes:

Las aberturas tanto móviles o fijas, por ser conductoras de aire fresco hasta el hogar de la caldera, no deben tener por delante nada que las obstruya.

Un regulador de tipo secundario, situado normalmente debajo del quemador controlado por un motor, pero que en el caso de modelos antiguos puede mantenerse abierto mecánicamente.

Un controlador de aire secuencial es importante, ajusta el regulador de tiro a la chimenea y hace que se obtenga la corriente debida a través del horno en todo momento.

**LA FLAMA.-** Cuando la caldera está funcionando correctamente, se obtendrá una flama con las siguientes características:

Un luminoso color blanco que quema de manera persistente.

Ni chispas ni humo negruzco.

De tamaño suficientemente grande como para -- llenar el horno pero sin que llegue a tocar las paredes, la parte superior o el fondo.

Sin espacio de aire entre el quemador y el comienzo de la flama que la haga salir fuera del quemador.

Esto se puede lograr teniendo en cuenta que el --- abastecimiento de aire es esencial. 4 lts. de petróleo pesado o de combustóleo, necesitan por lo menos el equivalente a 51.7 Kgs. de aire para obtener una buena combustión. Esto -- puede lograrse de dos maneras: Lo primordial es hacer llegar el aire hasta el pulverizador de petróleo a medida que éste - comienza a quemarse. A continuación el aire debe llegar hasta el horno cuando la combustión está teniendo lugar. Si el quemador no tiene la cantidad correcta de este aire, se ocasiona humo.

La temperatura del petróleo al entrar en el quemador debe ser lo suficientemente alta como para pulverizarse - en finas gotas. Si las gotas fueran demasiado gruesas se obtendrá humo. Hay dos cosas indispensables para obtener un - pulverizado correcto. Los precalentadores de petróleo deben de funcionar correctamente para permitir que el petróleo fluya fácilmente hasta el quemador. Este debe de estar limpio y en buenas condiciones de uso, si el petróleo está demasiado - frío y no se pulveriza como debe, se obtendrá humo.

Una presión correcta del quemador es esencial. La válvula en el quemador debe de obtener con exactitud la cantidad correcta de petróleo que necesita para quemar bien. Demasiado o poco, ocasionará humo. Cuando la presión es baja, el

quemado es incompleto, las flamas se desvanecen y pueden desaparecer por completo. Cuando la presión es demasiado alta se obtiene una mezcla impura de aire-petróleo. La flama da contra las paredes y causa humo.

Si la flama está saliendo del quemador, esto quiere decir, que está recibiendo demasiado aire primario; para remediarlo se verifica el cerrador de aire en la cabina del quemador, la unión mecánica debe tener libertad de movimiento que permita al cerrador abrir o cerrar. Si la flama está temblorosa y humeante, podría ocurrir que hubiera demasiado poco aire primario; para evitarlo se asegurará de que el cerrador de aire primario no esté herméticamente cerrado. Si el ventilador de aire del quemador está demasiado lento, se ajusta la banda y se limpian las aspas del ventilador.

En el caso de que el aire primario fuera el correcto, pudiera ocurrir que el aire secundario no fuera el suficiente, el regulador de tiro del aire secundario debe funcionar libremente y se verifica si no está bloqueada la entrada del aire secundario. Si el humo persiste se apaga la caldera, se examina el horno, el hogar y el cañón de la chimenea para asegurar bien de que nada esté bloqueado.

Una flama demasiado grande en el horno causará humo al golpear la parte de atrás de la pared. Esto puede ser causado por dos cosas o el quemador está recibiendo demasiado petróleo o la copa del quemador no se encuentra en la posición debida; si sucediera esto último, se apaga la caldera y

se saca el quemador. Se verifica si el borde de la copa no esté a menos de 0.64 cm. y no esté a más de 1.2 cm sobrepasando el cono de aire primario. Si la copa está demasiado dentro del horno, la flama pegará contra la pared a pesar de que sólo se esté quemando la correcta cantidad de petróleo. Si no está lo suficientemente metida, la flama puede dar contra los lados, la parte de arriba o el fondo.

Cuando se tiene una flama que quema con chispas luminosas, ésto es causado o bien por suciedad en el petróleo o por una mala pulverización debido a que la copa está en malas condiciones. Cuando esto suceda se apaga la caldera y se abre el quemador, se limpia la copa perfectamente con un trapo y usando un disolvente para quitar el carbón, ésto se hace mientras la copa esté caliente, inmediatamente después de apagar el quemador. Se utiliza un trozo de madera o una regla para raspar los residuos de carbón y no la copa. La copa nunca debe rozarse con metal. Se examina la copa y se ve si tiene golpes en los bordes en caso de que los hubiera tendrá que ser repuesta, se limpia la válvula de la copa con un trapo. En caso de que no se tuviera un filtro para el petróleo se saca la válvula y se limpia con un disolvente.

LIMPIEZA DE LOS TUBOS.- El hollín quiere decir -- humo. No importa lo buena que sea la flama ni el buen mantenimiento que se tenga, el hollín se acumulará dentro de los tubos de la caldera a pesar de todo.

Una vez al mes se abre la puertecilla de la limpie

za y se inspeccionan bien los tubos. Si en ellos hay más de 0.32 cm. de hollín acumulado se deben limpiar de la siguiente manera:

Se apaga el horno y se deja que se enfríe durante una o dos horas. Se cierran todos los reguladores de tiro a fin de obtener la mínima corriente de aire y que el hollín no se vuelva a la caldera. Se saca el quemador cubriéndolo con un trozo de tela de lona o con un lienzo bastante tupido con idea de protegerlo del hollín que se va a eliminar. Para limpiar los tubos es necesario usar un tubo largo de limpieza y un cepillo de alambre. Se une el cepillo de alambre al tubo de limpieza, se limpian los tubos con mucho cuidado, no permitiendo que el hollín penetre dentro del hogar o del cañón del horno.

Estos son algunos métodos que se siguen para lograr una buena combustión en la caldera. No se pueden considerar estos métodos como únicos, ya que cada caldera se debe considerar como un caso especial. Debido a las condiciones a las que trabaja y el tipo de caldera.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a las investigaciones realizadas, a nivel bibliográfico, en el presente trabajo no se pretende generalizar sobre métodos para lograr una buena combustión, ya que cada equipo de combustión estacionario requiere de atención especial, pero sí enfocar algunos aspectos desde el punto de vista económico:

a) El control de la contaminación ambiental producida por humos visibles emitidos por calderas, no requiere de algún equipo adicional.

b) Esto proporciona un ahorro en el combustible utilizado.

c) Si no existen problemas con el combustible el mantenimiento aplicado a estos equipos es mucho más económico.

d) El buen manejo de dichos equipos, utilizando el combustible para el que fueron diseñados.

B I B L I O G R A F I A

- AIR POLLUTION.- W.L. Faith and Arthur Atkisson Jr. Second Edition. Ed. Willey-Intersciencie.
- CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA.- Organización Mundial de la Salud. Ginebra. 1962.
- ECOLOGIA-CONTAMINACION-MEDIO AMBIENTE.- Turk.Turk.Wittes. Ed. Interamericana. 1973.
- FUEL OIL COMBUSTION Y ALMACENAMIENTO.- Benito Gil. Ed. Blume. 1969.
- APUNTES SOBRE CALOR V.- Subdirección de Capacitación. I.M.P.
- APUNTES PARA OPERADORES DE TERCERA (FOGONEROS) DE CALDERAS.- Subdirección de capacitación. I.M.P.
- HOW TO STOP SMOKING.- David Sage. City of New York Environmental Protection Administration Departament of Air Resources. Junio de 1971.
- CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK.- John H. Perry. Fourth Edition. International Student Edition.
- REGLAMENTO DE HUMOS Y POLVOS.- Diario Oficial de la Federación. 17 de Septiembre de 1971.
- NORMA OFICIAL.- Método de Pruba para determinar la densidad aparente visual del humo empleando la Carta de Ringelmann. Diario Oficial de la Fed. 5 de Agto. 1972.