



Universidad Nacional Autónoma  
de México

Facultad de Química

"Análisis de un Calentador de Fuego Directo y Proyecto del Sistema de Tratamiento de los Gases y Partículas Efluetes".

Tesis

Que para obtener el título de:

Ingeniero Químico

p r e s e n t a :

Juan José Vicente Felgueres Fiallega



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.

TESIS 1976  
ADG Ht.  
FBCNA  
PROD 106



QUINTA

Presidente Prof. Alejandro Anaya Durand

V o c a l Prof. Mayo Martínez Kahn

Jurado asignado originalmente - según el Tema.

Secretario Prof. Alberto De la Fuente Zuno

1er. Suplente Prof. Jorge Mencarini Peniche

2do. Suplente Prof. Cutberto Ramirez Castillo

Sitio donde se desarrolló el tema: Molino de Nixtamal "El Rojito"

Nombre completo y firma del sustentante: Juan José Vicente Felgueres -

Fiallega

Nombre completo y firma del asesor del tema: \_\_\_\_\_

Ing. Alejandro Anaya Durand

" LO QUE PUEDES HACER,  
O HAS SOÑADO QUE PODRIAS  
HACER, DEBES COMENZARLO.

LA OSADIA LLEVA EN SI  
GENIO, PODER Y MAGIA".

- GOETHE -

A LA MEMORIA Y AL RECUERDO SIEMPRE PRESENTE  
DE UN HOMBRE QUE CON SU ESFUERZO Y RECTITUD  
HIZO POSIBLE QUE YO LOGRARA LO QUE EL SIEMPRE  
ANHELO, A MI PADRE DON JOSE FELGUERES CUE.

A MI MADRE DOÑA JUANITA FIALLEGA VDA. DE  
FELGUERES, QUE CON SU INMENSO CARIÑO Y -  
ENTUSIASMO ME HA DADO TODO PARA TRIUNFAR  
EN LA VIDA.

A MIS HERMANAS, CONCHITA Y CHEPINA

A MI TIO PEPE.

A MIS CUÑADOS.

A MIS SOBRINOS.

A MIS AHIJADOS.

AL COLEGIO CRISTOBAL COLON.

A MARIA DEL CARMEN

POR TODO LO QUE ESTE TRABAJO  
SIGNIFICA PARA NOSOTROS.

A LAS SIGUIENTES PERSONAS, POR SUS VALIOSOS CONSEJOS.

SR. SALVADOR TAJONAR N.

SR. TOMAS SUERO BALMORI.

SR. TOMAS MARQUES URQUIAGA.

SR. MATEO AJA TRUEBA ( finado ).

SR. FAUSTINO GOMEZ ( finado ).

POR SU COLABORACION EN EL DESARROLLO DEL TEMA:

SR. ING. PEDRO REYES R.,      Director del Laboratorio de  
Ingeniería Química de la  
Universidad Iberoamericana.

SR. DR. HUMBERTO BRAVO,      Director del Departamento de  
Contaminación Ambiental en la  
Facultad de Ciencias de la  
Universidad Nacional Autónoma  
de México.

SR. RENE BEAUROYRE,      Gerente de los Talleres " Klein ".

SR. ARTURO FLORES M.,      Ejecutivo del Departamento de  
Relaciones Públicas de General  
Motors de México, S. A. de C. V.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	1
CAPITULO I - ANTECEDENTES DEL FENOMENO DE LA CONTAMINACION.	4
- concepto de contaminación y contaminante.	12
- causas de la contaminación ambiental.	12
CAPITULO II - LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA CIUDAD DE - MEXICO Y EL AREA METROPOLITANA.	21
- situación geográfica.	25
- causas de la contaminación en el aire.	26
- principales contaminantes presentes en la - atmósfera del área metropolitana de la Ciu- dad de México.	30
- efecto de los contaminantes en la salud hu- mana, y los posibles métodos de control.	31
CAPITULO III - ANALISIS DE LAS VARIABLES DE OPERACION DE UN HORNO UTILIZADO EN UNA CALDERA DE UN MOLINO- DE NIXTAMAL.	45
- variables que se pueden manejar en el diseño.	47
- determinación de las variables.	48
- método de Wilson, Lobo y Hottel para el di- seño de hornos.	49
- variables que utiliza el método anterior.	51
- clasificación final de las variables del mé- todo de Wilson, Lobo y Hottel.	58

CAPITULO IV - PROYECTO DE UN SISTEMA PURIFICADOR DE LOS GASES Y PARTICULAS EFLUENTES DE UNA CALDERA DE TUBOS- DE HUMO UTILIZADA EN UN MOLINO DE NIXTAMAL.	
- la industria del nixtamal en el Distrito Federal y la zona Metropolitana.	61
- tipo de calderas utilizadas en la industria.	66
- sistema de suministro de combustible en las calderas anteriores.	68
- especificación del combustible y de los productos de la combustión.	70
- análisis del efecto del exceso de aire en los gases de combustión que contienen CO <sub>2</sub> .	71
- sistema purificador.	78
- ventajas y desventajas del sistema.	94
CAPITULO V - ASPECTO ECONOMICO DEL SISTEMA PURIFICADOR.	
- cuadro comparativo del uso de varios combustibles.	104
CAPITULO VI - ASPECTO LEGAL.	
- cumplimiento de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental.	106
C O N C L U S I O N E S .	112
B I B L I O G R A F I A .	116

INTRODUCCION

Es de particular interés, el poder contribuir por medio de los conocimientos adquiridos a través de la Carrera de Ingeniería Química, a la prevención y solución de problemas que son una consecuencia de la explosión demográfica, y del desarrollo de la industrialización.

Uno de los problemas que sufren actualmente las grandes ciudades y centros de población, es el debido a la contaminación ambiental, que se deriva del deterioro del medio ambiente; entendiéndose como medio ambiente según Charles R. Darwin (1), el conjunto de condiciones en las que vive un organismo. Estas condiciones están regidas por la Biología, la Química, la Física, la Ingeniería y actualmente con mayor intensidad, por la Demografía. Todas ellas en conjunto, tratan de las acciones recíprocas entre el hombre y la tierra; destacando una especialidad biológica que se ocupa de las relaciones entre organismos y su medio ambiente, denominada Ecología.

El trabajo presente está encaminado a la solución de un problema específico dentro de la contaminación ambiental, que es el debido a la contaminación del aire en la Ciudad de México y en la Zona Metropolitana; esta Ciudad de México, localizada en la Meseta de Anáhuac, y que fué ponderada por Don Alfonso Reyes (2), en 1917, como la región más transparente del aire. Hoy en día, si Don Alfonso viviera, seguramente que no ratificaría lo que en aquella época escribió.

---

(1) Charles R. Darwin (1809 - 18862); Naturalista Inglés, en "El Origen de las Especies, por medio de la Selección Natural" 1859.

(2) D. Alfonso Reyes (1889 - 1959); Escritor Mexicano, en "Visión de Anáhuac" 1917.

Innumerables autores han contribuido a la publicidad de este problema, y a la solución del mismo, de aquí la necesidad de orientar este estudio, hacia un caso concreto dentro de la contaminación del aire, - siendo éste un sistema de combustión utilizado en la industria del nixtamal, consistente en un quemador de combustible, un calentador de fuego - directo, y una chimenea para la emisión de humos y gases producidos en - la combustión.

CAPITULO I

ANTECEDENTES DEL FENOMENO

DE LA

CONTAMINACION

En el Siglo XX, la voluntad de poder ha llevado al hombre a tratar de ejercer un dominio casi total sobre la naturaleza. La capacidad de transformar el medio que rodea al ser humano, nace con la primera herramienta, que en sí misma no es buena ni mala, sino indicación de humanidad. Los tiempos modernos, sin embargo, plantean la posibilidad de que la leyenda medieval del mago, que no logró someter y controlar sus propios encantamientos y hechizos, cobre plena vigencia.

### Medio Humano

Por iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas -- (ONU), la expresión "medio humano" implica las actividades del hombre -- que, al afectar a los sistemas ecológicos humanos de que forma parte, -- afecta a su propia vida y bienestar.

### Ecología y Sistemas Ecológicos.

Desde antaño, los naturalistas se han venido preguntando por los vínculos de los seres vivos con el mundo inorgánico que los rodea y es en 1866, cuando Ernst Haeckel propone estos estudios como materia de una disciplina especial: La Ecología.

Ecología (del griego oikos, casa) es una ciencia que estudia la economía de animales y plantas; en su significado moderno se considera como la que se ocupa de las relaciones entre los organismos y su medio ambiente, conformado éste, a su vez, por otros seres orgánicos y materias inorgánicas.

La Ecología, al referirse al hombre, estudia su ecosistema,--

es decir, el total de los recursos naturales y elementos que produce. -- De acuerdo con Duvigneau, ecosistema es un sistema funcional que incluye una comunidad de seres vivientes y su ambiente; para Dansereau, se trata de una unidad ambiental más o menos cerrada donde los recursos circulan-- a través de una biomasa constituida por poblaciones de plantas y anima-- les asociados en ciertos procesos mutuamente compatibles entre sí.

Pero lo evidente es que ni en todos los tiempos, ni en todos los lugares encontramos ecosistemas semejantes. Las condiciones de cada bioma, conjunto o combinación de ecosistemas (por ejemplo el desierto o-- la tundra), ofrecen particularidades, no solo en cuanto a los seres que-- en ellos habitan, sino en cuanto a las actividades que el hombre es ca-- paz de desarrollar en su interior.

### La Biósfera como Habitat Humano

Cada especie animal requiere de un hogar para subsistir, es-- to es, una serie de condiciones naturales precisas que permiten su repro-- ducción y supervivencia. El hombre carece de hogar bien definido y deli-- mitado, mas puede instalarse en muy diferentes lugares de la tierra, -- siempre que sean debidamente satisfechas un mínimo de exigencias. Sin -- embargo, si el hombre primitivo pudo ajustar la existencia a sólo dos -- elementos, el ambiente natural que lo rodeaba y la choza o la caverna, -- el hombre moderno, en cambio, requiere gran variedad de medios de subsis-- tencia sumamente complejos, porque sus exigencias mínimas se han multi-- plicado.

No obstante las diferencias ecológicas, la tierra en su con-- junto (aire, agua y los seres vivientes que la pueblan) integran un so--

lo cuerpo llamado biósfera, comprendido totalmente en el ecosistema del hombre o sistema del medio ambiente humano.

### El hombre, transformador natural.

En respuesta a las permanentes variaciones del mundo que nos rodea, los animales y las plantas están sometidos a constantes alteraciones. Sus reacciones, por la complejidad del ecosistema, se presentan en cadena, aún cuando sean producidas por efecto de un pequeño cambio en determinada parte del mismo. Pero hay límites, más allá de los cuales la composición genética de los seres vivos no reacciona ante los cambios, impidiendo que los ecosistemas recuperen el equilibrio alterado. Pese a que no todos los actos del hombre afectan a la biósfera como un todo, puede ser considerado como el principal transformador del medio ambiente, en razón del carácter y alcance de sus actividades relativas a su entorno.

Ante la posibilidad de su creciente influjo sobre el equilibrio natural, el estudio del medio humano ha adquirido enorme importancia, planteándose como pregunta central: ¿Cuáles son los actos del hombre que rompen la armonía de su ecosistema, ponen en peligro su propia subsistencia y llegan a alterar el equilibrio de la biósfera?.

### El hombre moderno y su concepción.

La actitud del hombre moderno hacia su entorno se halla profundamente enraizada con tradiciones y concepciones filosóficas y religiosas. Al considerarse a sí mismo como centro y razón de ser del uni-

verso, el ser humano ha pasado gradualmente de la exploración a la explotación del planeta. En los tiempos modernos, por lo menos a partir del siglo XVII, esta práctica se ha generalizado. La búsqueda del provecho y la utilización cada vez mayormente extendida y variada de los recursos naturales, ha propiciado un concepto muy peculiar del entorno. Percibir el agua y el aire como bienes gratuitos es parte de esta concepción que considera a la naturaleza como objeto de explotación.

Por otra parte el desarrollo industrial, al traer consigo — una era de abundancia y despilfarro, junto con una elevada y continua — tasa de crecimiento económico, conduce a justificar con algunas reservas la contaminación del medio ambiente.

Al iniciarse la época moderna, algunos pensadores creyeron — hallar una solución al perenne problema de lograr la sociedad perfecta: — conquistar y dominar la naturaleza. Así, el progreso científico y tecnológico, en la medida en que se lograra la dominación y máxima explotación de la naturaleza, permitiría también una sana organización humana, — con un óptimo bienestar y armonía.

Sin embargo, estas concepciones rebasan los límites puramente económicos, para alcanzar los órdenes social y político. Por tanto, — la organización concebida por los Utopistas de los principios de la era moderna contiene los mismos rasgos que la descrita por algunos humanistas y futurólogos contemporáneos, aunque el carácter de la descripción — varíe profundamente. Mientras los primeros la contemplan como el estado más elevado de evolución, los segundos, proyectan sus últimas consecuencias al desarrollo industrial y al progreso tecnológico, arribando a conclusiones diferentes: la empresa de dominar la naturaleza por obra de

la ciencia opera en un contexto social factible de desembocar en una gran capacidad de control sobre la vida de las mayorías, ejercido por una gran minoría tecnocrática.

Aún en el caso de que esta predicción no se cumpla, se presentan ya síntomas alarmantes que denuncian los peligros que entrañan un incontrolado desarrollo industrial y la explotación irracional de la naturaleza. La conquista del medio debe considerar que, para su bienestar y subsistencia, el hombre depende de sistemas en que la naturaleza establece sus propias reglas.

Los principios elementales de la Ecología señalan que todo desarrollo es limitado. Esta afirmación es contraria a la concepción moderna que cree y se afana por conseguirlo, en un crecimiento económico ilimitado. Otra ley de la Ecología insiste sobre la interdependencia: todo está relacionado con todo, no obstante que científicos, ingenieros y sociólogos, así como dirigentes de estado, empleen procedimientos que aíslan y simplifican.

La interdependencia, la limitación y la complejidad se manifiestan constantemente en el medio rural. Con frecuencia, las especies animales autolimitan su propio desarrollo, al adecuar su crecimiento a los recursos que les brinda su habitat. En el caso específico del ecosistema humano, que incluyó no solo el entorno natural sino un complicado aparato social y político, la interrelación es increíblemente compleja. De ahí que las consecuencias de un crecimiento demográfico y económico incontrolado puedan tener resultados catastróficos.

## Expansión Económica

La ciencia económica reconoce que las empresas deben expandirse para subsistir y que los países se enorgullecen de su producto nacional bruto cada vez que éste acusa tendencia al crecimiento, olvidando el hecho de que, al mismo ritmo y nivel, aumenta la generación "per cápita" de basura y desperdicios. Hasta el momento, se han adoptado grandes decisiones sobre bases económicas en las que pocas veces es considerado el costo social.

Por otra parte, es evidente que la tendencia a la acumulación de capitales es uno de los rasgos más negativos de la sociedad contemporánea, y que ésta tendencia es observable tanto a nivel individual como entre los grupos políticos y financieros que dirigen a la mayor parte de los países del mundo actual, sean desarrollados, o no.

Independientemente de la razón que mueva a esta concentración de poder económico, es decir, el propósito de conservarlo o de adquirirlo, el caso es que la explotación de los recursos parece efectuarse siempre en función de metas inmediatas y fuera de políticas de largo-plazo que aseguren la permanencia y el incremento de esos recursos.

Las industrias que utilizan combustible de origen fósil impregnan la atmósfera de gases y partículas resultado de la combustión y lo hacen así, porque la concepción moderna, antes indicada, considera el aire como un bien de uso libre y porque evitar la contaminación de la atmósfera implicaría una elevación de costos.

La tala indiscriminada de los bosques tampoco tiene razón --

de ser; es posible preservar algunos bosques y recurrir a la explotación de otros quizá más apartados, aunque tal cosa implique la elevación temporal de los costos del transporte y dé origen a problemas de mano de obra que momentáneamente reduzcan las ganancias del empresario. Dinamitar los lagos para reducir el esfuerzo e incrementar la pesca, arrojar desperdicios en los fondos marinos o en las cuencas hidrológicas, no son alternativas ineludibles.

Resulta pues, obvio, que la adopción de medidas efectivas, en materia de regulación y prevención no es problema exclusivamente tecnológico ni jurídico. Deben adoptarse, igualmente, decisiones políticas y aún de carácter ético.

### Explosión Demográfica

A lo largo de su existencia, la población humana ha alcanzado la cifra de tres mil ochocientos millones de habitantes. (Agosto 1976) Serán suficientes 30 años más para que la cifra se duplique. En consecuencia, de mantenerse constante esta proyección, puede llegar el momento en que haya un hombre por cada kilómetro cuadrado. La elevada fecundidad y la disminución de la mortalidad, son culpables directas de este desmesurado aumento demográfico. Esto unido a la depredación que han sufrido algunos recursos naturales y especies vegetales y animales, por efecto de la propia acción humana, plantean un problema de difícil solución. Así, se presenta la paradójica situación de que el único ser racional, capaz de procurar su constante desarrollo y de comprender las leyes que gobiernan la naturaleza, no se comporta racionalmente, ajustando su proliferación a las condiciones del medio en que habita. Tampoco es-

ocioso recordar, sin embargo, que el incremento demográfico irracional - no es ajeno a factores filosófico-religiosos, y en ciertos casos, a consideraciones de tipo político.

#### Revisión de valores y fines.

La sociedad moderna ha juzgado que vivir con comodidad, - - transportarse rápida y confortablemente, disponer de diversos inmuebles - y crear cada día nuevas tecnologías, bien vale el precio de contaminar - la atmósfera. Hoy, sin embargo, se ha llegado a poner en duda la verdad - de este principio, puesto que según parece, la civilización industrial - es capaz de producir los factores de su propia destrucción, por lo que - cabe preguntar si algunos de los efectos nocivos que aquella genera no - son sino una pálida imagen de lo que sucederá en el futuro.

A nivel teórico y práctico, en el terreno científico y político, es exigencia natural y consecuente la necesidad de replantearse - una escala de valores y de fines y de reformular la estrategia y los métodos para conseguirlos. Si la tarea resulta inaplazable en los países - altamente industrializados, lo es más para los que se hallan en vías de desarrollo. Su proceso de industrialización, la escasez de sus recursos y las apremiantes necesidades de la población, obligan a proceder bajo - la consideración global de que todos los elementos se conjugan en la problemática del medio ambiente humano.

#### Concepto de Contaminación y Contaminante.

De acuerdo con la definición empleada por las Naciones Unidas, el medio humano comprende toda la materia, los procesos y las in- -

fluencias de la naturaleza física y biológica que, directa o indirectamente, ejercen efectos significativos en el bienestar de toda la raza humana en su conjunto; algunos pueden ocurrir en forma natural, en tanto que otros son resultados de las propias actividades del hombre.

Entre los efectos producidos por la acción directa del hombre, la contaminación es uno de los más dramáticos. Según la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, se considera como contaminación "La presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos, que perjudiquen o molesten la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna, o degraden la calidad del aire, del agua, de la tierra, de los bienes, de los recursos de la nación en general, o de los particulares".

La misma Ley define como contaminante, "Toda materia o sustancia, o sus combinaciones o compuestos o derivados químicos y biológicos, tales como humos, polvos, gases, cenizas, bacterias, residuos y desperdicios, y cualesquiera otros que al incorporarse o adicionarse al aire, agua o tierra pueden alterar o modificar sus características naturales o las del ambiente; así como toda forma de energía, como calor, radioactividad, ruidos, que al operar sobre o en el aire, agua, o tierra, altere su estado normal".

#### Causas de la Contaminación Ambiental.

La causa directa o indirecta del aumento de los problemas de la contaminación del aire, es el hombre y la tecnología empleada para satisfacer necesidades primordiales de subsistencia y también de artículos y servicios superfluos. De lo anterior se deduce que el fenómeno de la

contaminación aparece desde que surgen los primeros grupos humanos; por eso, el crecimiento de la población humana, y la selección de sitios comunes de habitación, incrementan cualquier problema ambiental, inclusive el de la contaminación del aire. Frente a esto, los recursos disponibles, la capacidad de autodepuración del ambiente y la adaptación y resistencia humanas a la modificación, son limitados.

En el aire, el hombre no tiene escapatoria. No puede huir del aire ni de su responsabilidad como causante de una alteración nociva en sus compuestos.

Desde los tiempos más remotos a las planificaciones actuales del urbanismo y la industria, a fin de contrarrestar la toxicidad del aire, el ser humano es sensible a los efectos modificables de este elemento.

Cuando el hombre primitivo se refugia en la cueva para vivir, se percata de que el aire sin olor y transparente del exterior es allí afectado por sus propias deyecciones, que le confieren un olor peculiar, no siempre agradable, a pesar de la forzosa familiaridad. El fuego, el humo y otros gases establecieron una diferencia notable entre el aire que estaba acostumbrado a respirar a campo abierto y el de la cueva, que empezaba a causarle molestias. Instintivamente el hombre busca ambientes más saludables. Comienza a rechazar los ambientes contaminados, los aires viciados, y se impone la tarea de buscar aire limpio; pero pasarían milenios, por lo menos, para que el hombre se percatara de algunos problemas específicos que originan la contaminación del aire.

Para nadie resulta dudoso, ciertamente, que las actuales tasas de crecimiento de la población ejercen presiones de tal magnitud tan

to sobre los gobiernos como sobre la ley de la oferta y demanda, que se convierte en utopía cualquier intento de solución que pretendiera detener el proceso de empobrecimiento de los recursos en forma inmediata y radical. En América Latina, particularmente, un acelerado incremento demográfico experimentado en los últimos veinticinco años, así como la forma en que se distribuye esta creciente población, ha cobrado especial interés, y es motivo de preocupación pública. De tal suerte que cada vez es más imperiosa la necesidad de aplicar una política demográfica, acorde con la política general de desarrollo y con el orden social al que se aspira.

#### La Cultura como origen de la Contaminación.

Algunos autores afirman que el problema de la contaminación y del deterioro del medio ambiente es de origen netamente cultural, pero entendiéndose a la cultura no como un acervo de conocimientos, sino en su concepción de dimensión intelectual mediante la que el hombre y la sociedad encuentran sus razones fundamentales. Lo anterior es una confirmación de que la contaminación apareció con los primeros grupos humanos, puesto que la cultura es una característica peculiar de cualquier ser humano. De esta manera, el progreso resulta ser una de las razones fundamentales del hombre y de la sociedad, pero es a la cultura a quien toca definir los medios del progreso que se busca. Sin ese proceso cultural, difícilmente podrá entenderse por qué conviene industrializarse con o sin límites, dar énfasis o no a lo espiritual del hombre y de la sociedad, entrar a la carrera sin fin del consumo intensivo, propiciar la conformación de economías multinacionales, e invertir o no en la conservación y el mejoramiento del ambiente.

La esencia cultural del problema se confirma, si observamos-

que atacarlo significaría una reducción de privilegios, sean estas utilidades económicas en la producción o en los servicios, estilos de comportamiento y costumbres, beneficios políticos individuales o de grupo. Tenemos que reconocer que todas estas reducciones serán rechazadas terminantemente o aceptadas en comprensión, en la misma medida en que toda la comunidad, es decir, directivos, empresarios privados, empleados, clases trabajadoras, estudiantes, intelectuales y ciudadanos en general, sean participantes efectivos de un proceso de desarrollo cultural propio y genuino, puesto que solamente estos procesos pueden hacer comprender tanto al individuo como a la colectividad, las razones y las implicaciones de las metas que se haya decidido perseguir.

Por último vuelve a confirmarse la esencia cultural de nuestro problema, cuando advertimos que lo económico y lo tecnológico son condiciones básicas para la conservación y mejoramiento del medio ambiente, puesto que por una parte, resultará casi imposible lograr éxitos en esa lucha sin los suficientes recursos económicos, trátase de la acción gubernamental o la privada, en cualquiera en sus niveles. Debemos aceptar a este respecto, que siempre parecerá preferible y hasta obligado invertir en la subsistencia o hasta en lo superfluo, que gastar en un bienestar que se extiende a toda la comunidad y que rinde sus frutos más valiosos a plazo diferido. De modo que si además de tratarse de un país pobre, no existe el interés de sacrificar cantidades significativas en esta tarea, poco o nada podrá lograrse.

Por otra parte, es obvio que sin tecnología no es posible controlar proceso alguno de deterioro, pero tecnología realmente adecuada e identificada a las características del contexto.

## La Población de América Latina.

En la mayor parte de los países de la región, el rápido aumento demográfico ha venido acompañado de una acentuada concentración de la población en contadas zonas, así como de una urbanización considerablemente rápida. Cabe señalar, sin embargo, que la mayoría de estos asentamientos urbanos se producen en aquellos lugares que desde antiguo pueden considerarse como polos de crecimiento demográfico. Las regiones tradicionalmente deshabitadas o escasamente pobladas continúan, por lo general, en condición semejante.

En gran proporción, el crecimiento urbano se explica por la enorme corriente migratoria hacia la ciudad, presentándose movilidad de la población no solo entre ciudades y núcleos urbanos de menor tamaño, sino directamente del campo a la ciudad, como se presumía hasta hace poco tiempo.

En el caso de México, el crecimiento de la población viene a ser significativo a partir de 1940; las tasas del incremento experimentadas desde ese año son muy elevadas si se comparan con las observadas anteriormente. En la última década, la tasa de crecimiento medio anual alcanzó un 3.4 por ciento, con lo que la población total aumentó de poco más de 20 millones en 1940 a más de 50 millones en 1970. Actualmente, Mayo de 1975, se tiene en México una tasa de incremento demográfico del 3.6 por ciento, con lo que la Ciudad de México, con un incremento demográfico del 6 %, ha alcanzado el séptimo lugar entre las ciudades más pobladas del mundo. Con base en las proyecciones realizadas, se espera que para 1980 la población total se aproxime a los 71 millones y en 1990, habiten el país alrededor de 100 millones de mexicanos.

## Posibilidades en la Prevención y Control de la Contaminación

Haciendo una relación de todos los antecedentes que he mencionado anteriormente, se puede decir que el deterioro del medio ambiente, caracterizado básicamente por el empobrecimiento y la alteración de sus elementos, es en esencia un problema de organización colectiva y de madurez individual, es decir, un problema político-administrativo y cultural. Por tanto, mientras se le entienda como problema de esencia científica, tecnológica o económica, no habrá acción oficial, privada o universitaria alguna que ofrezca resultados siquiera razonables.

Por otro lado, al referirnos a la alteración de los componentes originales de cada uno de los recursos o elementos que constituyen a la biósfera nos enfrentamos también a un problema más político y cultural que tecnológico o económico, porque cuando el sistema y la organización político-administrativa permita conformar a una sociedad en pleno proceso de maduración, ni el individuo consume volúmenes de satisfactores materiales notablemente mayores de los que requiere, ni tampoco existen los impulsos irrefrenados hacia el acumulamiento de capital, ni la escasez de medios económicos que obstaculiza el funcionamiento de procesos de explotación y de transformación, no perjudiciales al medio cultural.

Durante los últimos años, la crisis del medio ambiente se ha difundido lo suficiente para atraer el interés de cierto número de importantes aunque anteriormente aisladas profesiones, incluidas la economía y la ciencia política. Ahora existe un pequeño pero valioso grupo de personas que escriben sobre los aspectos económicos y políticos del medio ambiente, a quienes pueden acudir los que estudian éste. Sin embargo, cualquiera que observe el panorama desde fuera, verá en seguida que las-

preocupaciones sobre el medio ambiente estuvieron, hasta hace muy poco, - muy alejadas de los problemas centrales de la economía convencional.

Los anteriores conceptos evidencian de nueva cuenta la absoluta necesidad de que la lucha contra la contaminación y el deterioro - del medio ambiente sean puestas en manos de expertos que no por ser espe-cialistas, carezcan de un conocimiento integral y profundo del problema, y sean incapaces de plantear soluciones integrables a un plan general de largo alcance.

Si bien es cierto que los estudios avanzados deben dirigirse fundamentalmente hacia aspectos prácticos y concretos de la problemática social y profesional que corresponda al ámbito geográfico en que dichos- estudios se realizan, puesto que de otra manera se estaría invirtiendo - mal un recurso tan escaso como es el del presupuesto destinado a la edu- cación superior, si estamos de acuerdo, en la necesidad de este sentido- práctico, no podemos negar que la educación a cualquier nivel en nuestro país tenga que sufrir cambios inmediatos y de raíz, porque ya no es posi- ble insistir en el absurdo de que pueda obtenerse el bien individual, - cuando la comunidad sólo avanza en pobreza económica e intelectual.

Atacar seriamente el problema del medio ambiente jamás reque- rirá tan solo de profesionistas con ciertos conocimientos prácticos de - las tecnologías de control, sino que será indispensable contar con perso- nas que conozcan la integralidad del problema y fundamentalmente, las - causas que lo originan, porque siempre será notablemente más costoso e - infructuoso invertir recursos para neutralizar los efectos de un fenóme- no adverso, que invertirlos en prevenir las causas del fenómeno, y resul- ta muy difícil una acción positiva y eficaz del especialista, cuando no- domina los aspectos fundamentales del problema que maneja.

Eventualmente, esos profesionistas podrán formar los cuadros de especialistas altamente calificados en las ciencias del medio ambiente, quienes, a su vez, desarrollarán la labor didáctica que corresponderá a las nuevas áreas universitarias que se vayan creando en torno a esa especialidad profesional.

Es cierto que en México hace falta un mayor conocimiento de los problemas de la contaminación y del deterioro del medio, es cierto también que se necesita más tecnología de control y más técnicos capacitados para implementarlas y desarrollarlas; también es cierto que se requiere la creación de una conciencia colectiva acerca del problema, y que es indispensable incrementar los recursos económicos de que se dispone para desplegar una acción mucho más eficiente; pero quizás más verídico y más necesario que todo ello, sea el desarrollo de un criterio y de una acción por parte de los especialistas del medio ambiente.

CAPITULO II

LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA  
CIUDAD DE MEXICO Y EL AREA METROPO-  
LITANA.

La ciudad de México, capital de nuestro País, con una superficie de 2,108.6 kilómetros cuadrados y con una población de 10.826,700 habitantes, (mayo 1975), constituye el principal centro neurrológico del territorio mexicano, donde convergen las principales vías de comunicación, vive el 18% de la población total y concentra el 43% de la actividad industrial con una tasa del 10% anual.

Lo anterior nos demuestra la importancia del área en materia política, económica y social, y el centralismo industrial y comercial que en ella existe.

Para fines del presente trabajo, se dividió el área metropolitana (según la Dirección General de Estadística, dependiente de la Secretaría de Industria y Comercio), en el Distrito Federal y 7 municipios del Estado de México que son los siguientes: Atizapán de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán, Ecatepec, Naucalpan, Tlalnepantla y Tultitlán. A su vez, el Distrito Federal se divide en 16 delegaciones; Alvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuajimalpa de Morelos, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, La Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Venustiano Carranza y Xochimilco; esta división se encuentra en la Fig. (I,1)

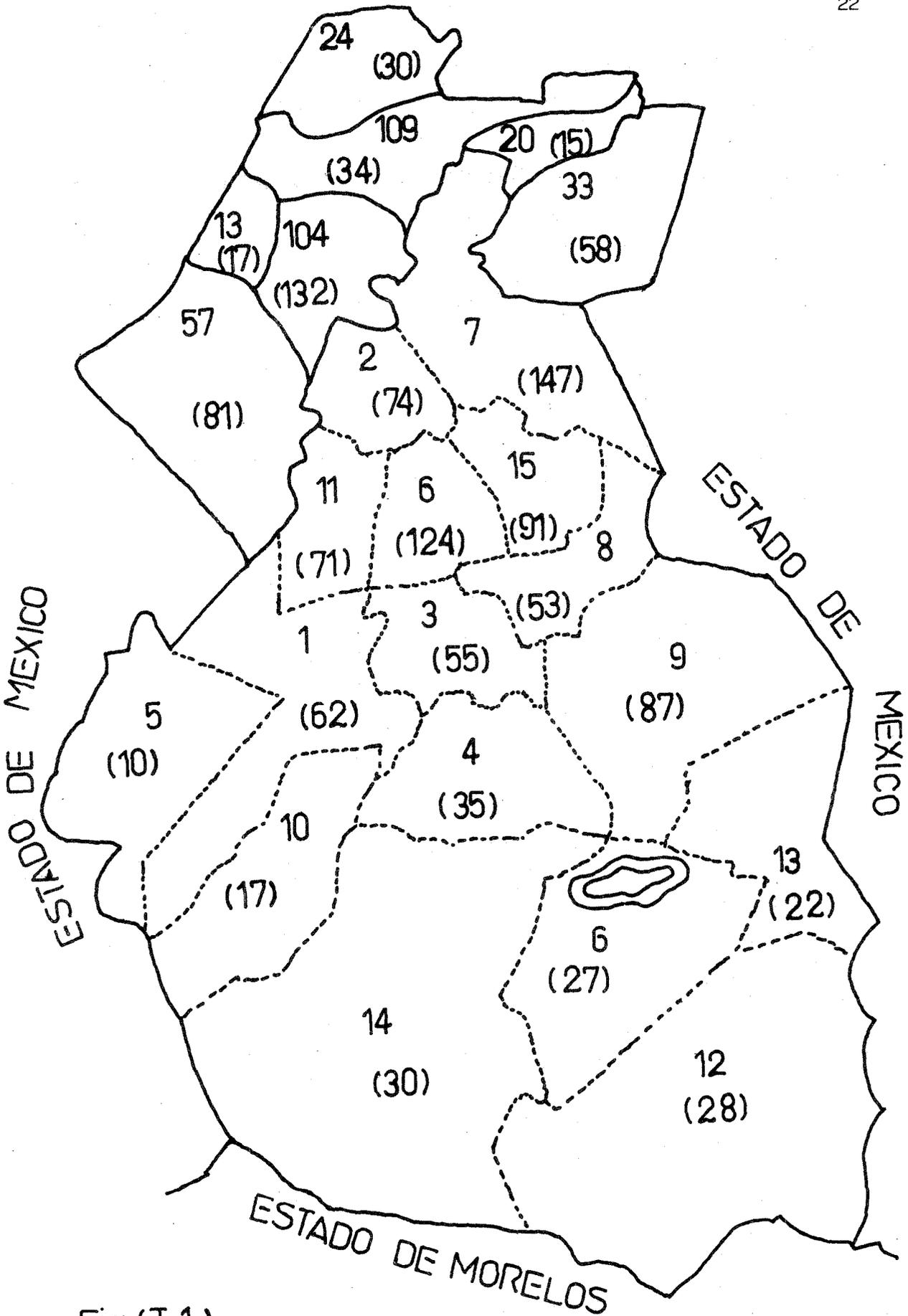


Fig.(I,1)

## DESCRIPCION DE LA FIGURA (I, 1)

## EL DISTRITO FEDERAL Y EL AREA METROPOLITANA

Con la División Municipal actualizada hasta el 31 de Julio - de 1973, según la Dirección General de Estadística (Registro de la División Territorial del País).

( ) Número de molinos de nixtamal

## Delegaciones del Distrito Federal

1	Alvaro Obregón	(62)
2	Azcapotzalco	(74)
3	Benito Juárez	(55)
4	Coyoacán	(35)
5	Cuajimalpa de Morelos	(10)
6	Cuauhtémoc	(124)
7	Gustavo A. Madero	(144)
8	Iztacalco	(53)
9	Iztapalapa	(87)
10	Magdalena Contreras	(17)
11	Miguel Hidalgo	(71)
12	Milpa Alta	(28)
13	Tláhuac	(22)
14	Tlalpan	(30)
15	Venustiano Carranza	(91)
16	Xochimilco	(27)

## Municipios del Estado de México

13	Atizapán de Zaragoza	(17)
20	Coacalco	(15)

24	Cuautitlán	(30)
33	Ecatepec	(58)
57	Naucalpan	(81)
104	Tlalnepantla	(132)
109	Tultitlán	(34)
	Total	<hr/> 1297

### Situación Geográfica

La ciudad de México se encuentra ubicada en la región sudoeste de la cuenca del valle de México, pequeña meseta de la altiplanicie a 2 240 metros sobre el nivel del mar, ocupando un poco menos de la mitad del valle de México.

El área metropolitana, por su situación geográfica, constituye un problema especial dentro de la contaminación atmosférica, debido a su altitud, a su localización dentro de un valle rodeado de cadenas montañosas y a sus características climatológicas.

Debido a su altitud, la ciudad de México es una zona que se caracteriza por tener una baja densidad de oxígeno en el aire; esto se debe fundamentalmente a que la relación aire-combustible disminuye proporcionalmente a la raíz cuadrada de la densidad del aire y por lo tanto se tienen mezclas más ricas con el consiguiente aumento de Hidrocarburos y monóxido de carbono. En lo que respecta a emisiones de óxido de nitrógeno ocurre lo contrario y al empobrecerse la mezcla se produce mayor cantidad de estas emisiones.

Su localización dentro de un valle rodeado de cadenas montañosas, que reducen la velocidad del viento, provocando una ventilación deficiente, así como largos periodos de aire en calma.

La inversión de temperatura, que es un fenómeno consistente en la formación de capas atmosféricas superiores a mayor temperatura que las capas inferiores de mayor densidad, impidiendo con esto la existencia de corrientes de convección por diferencia de densidades, y como consecuencia impidiendo la ventilación de las capas contaminadas.

Los vientos en el valle de México provienen predominantemente del Noroeste de modo que acarrean el humo y las impurezas de las principales zonas industriales de la ciudad que se encuentran en el Norte (Ecatepec, Azcapotzalco, Tlalnepantla, etc.), hacia las zonas habitacionales del sur de la ciudad.

Así mismo, estos vientos transportan el polvo del vaso de Texcoco hacia los núcleos urbanos.

Otro factor importante lo constituye la humedad, que hace que algunos contaminantes se diluyan y sean más reactivos, ocasionando mayores perjuicios.

#### Causas de la contaminación en el aire

Estimaciones realizadas en los países industrializados permiten suponer que más de tres cuartas partes de la contaminación atmosférica en el aire, está vinculada al consumo de combustibles, principalmente en los servicios de transporte, en la producción industrial, en la producción de energía eléctrica y en la calefacción ambiental. Por esta razón, se trata la contaminación en el aire en función de los usos de la energía, sin que ello desconozca que otros agentes contaminantes provenientes de la actividad agrícola, minera y constructora son también dignos de mención.

#### Origen de los contaminantes:

- a) producto de la combustión; calderas, incineradores, hornos, automóviles, otros vehículos, hogueras y fuego a cielo abierto.

- b) procesos industriales; fábricas para la obtención de materiales de construcción, como hidróxido de calcio, cemento, hornos de tabique; fábricas de celulosas, papel y cartón; fábricas de vidrio, laminadoras, fundiciones y metalúrgicas; industria química farmacéutica.
- c) actividades agrícolas; fabricación y utilización de fertilizantes, insecticidas y pesticidas.
- d) origen natural; polenes, polvo de erosión, polvos volcánicos y gases de descomposición.
- e) otros; basura, hospitales.

Como se ha hecho mención en el primer capítulo de este trabajo, contaminantes son aquellos agentes que de una u otra forma deterioran el medio ambiente; en el caso de los contaminantes atmosféricos, son los que deterioran la atmósfera y que producen algún efecto nocivo directo o indirecto sobre la salud o bienestar humanos.

Los contaminantes se pueden clasificar según su forma física en los siguientes grupos: 1) gases.

11) partículas; sólidos y líquidos.

Los gases y partículas al unirse formarán aerosoles con una variación en diámetro de 0.001 a 1.00 micras. Una característica importante de los contaminantes es la de que a un diámetro menor de 30 micras no los capta el ser humano.

Según sus características químicas, los contaminantes se dividen en oxidantes y reductores. Entre los oxidantes podemos citar a los

óxidos de nitrógeno y al ozono; y entre los reductores a los anhídridos-sulfurosos y polvos en suspensión.

En lo que se refiere a los contaminantes atmosféricos químicos (exceptuando el ruido, bacterias, alergenos, etc.), en la atmósfera se han detectado centenares de ellos, siendo unos cuantos sin embargo, - los que determinan el problema público en nuestra ciudad.

### Sistema Nacional de Monitoreo

Para la determinación de los contaminantes en la atmósfera, - el Gobierno Federal, por medio de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, fundó en el año de 1967, la red de monitoreo de contaminación aérea, con 4 estaciones manuales que, por conveniencia económica, se situaron - en Tacuba, Tlalnepantla, el primer cuadro y el Aereopuerto Internacional.

En 1968, se instalaron otras 3 estaciones manuales en Portales, Observatorio y Villa Olímpica. Creció la red al siguiente año con - las estaciones de Villa de Guadalupe y Tizapán; en 1970, con las de Industrial Vallejo y Santo Tomás, y en 1972, con 3 estaciones más en las - lomas de Chapultepec, Iztapalapa y el edificio de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente (SMA).

Para el análisis de los polvos sedimentables, se organizó - una red de 250 dispositivos captadores; el monitoreo de los polvos en - suspensión se efectúa por colecta mediante succión por vacío controlado. Se integró además el equipo necesario para captar y medir el bióxido de azufre, el índice de corrosión y el de sulfatación.

A fines de 1972 se vió la necesidad de reorganizar esta red - dadas las características de crecimiento del área urbana, y las de viali

dad y tránsito de vehículos, por lo que la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente adquirió la red de monitoreo automática que forma parte del sistema nacional de monitoreo.

El gobierno Federal cuenta ya, con un inventario nacional -- que, estando actualizado permanentemente, orientará la política a seguir en materia de contaminación y mejoramiento del medio, conjuntamente con el sistema nacional de monitoreo, instalado en las grandes urbes Mexicanas y con los laboratorios de investigación científica de los problemas del ramo. Este sistema lo integran la red automática de monitoreo y la -- red manual del programa de medición del PNUD (Programa de las Naciones -- Unidas para el Desarrollo).

En efecto, en el valle de México se encuentra establecida la red automática de monitoreo, que consiste de 20 estaciones fijas y 2 estaciones móviles.

Las estaciones fijas están conectadas por vía telefónica a -- un control central ubicado en el edificio de la SMA, el cual tiene un modelo de computadora de propósito único en el que se procesan los datos -- que aquellas envían; esta información se obtiene impresa por medio de 2 -- teletipos de doble flujo que reciben también en una perforadora para integrar con cintas un banco de datos.

Las 20 estaciones fijas miden monóxido de carbono (CO) y bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). De ellas, 5 registran polvos en suspensión, ozono-- (O<sub>3</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), y además realizan mediciones metereológicas como velocidad y dirección de los vientos, humedad y temperatura.

El contaminante de mayor importancia en el área metropolitana es el monóxido de carbono, y participa con un 67% en la composición --

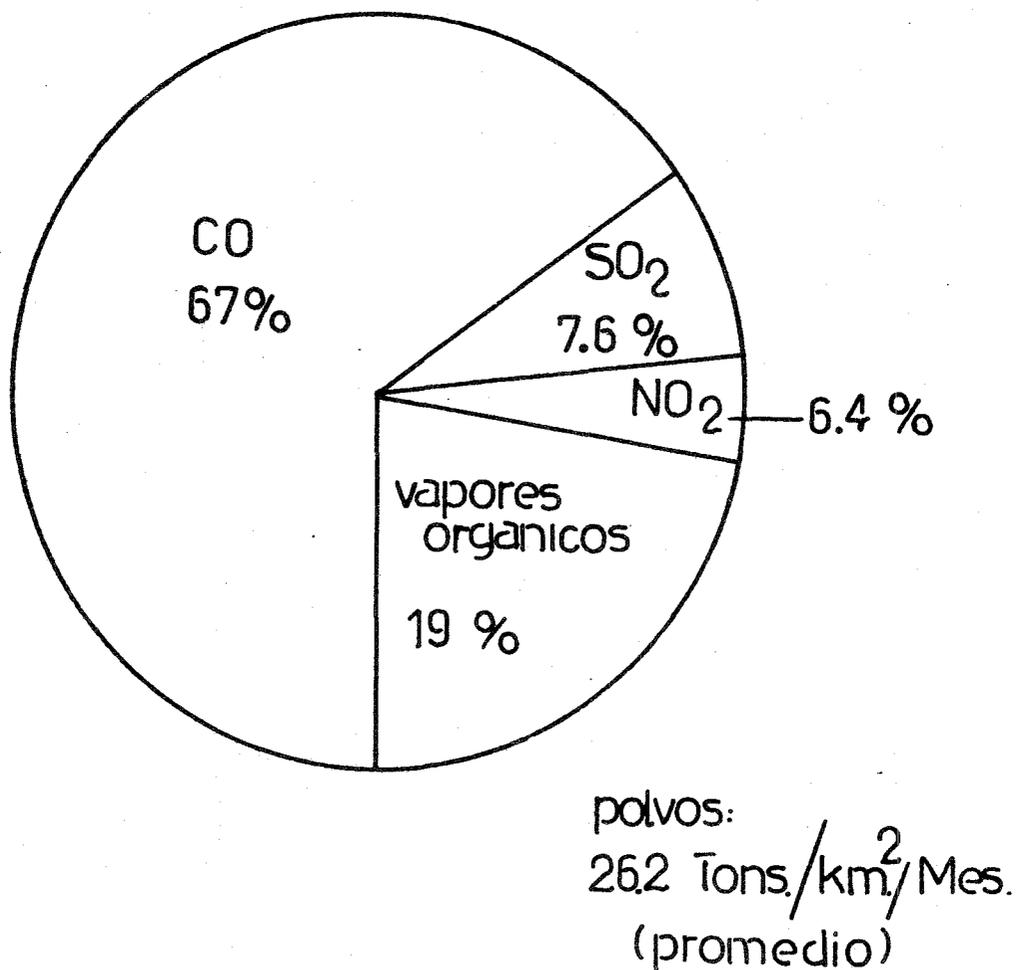


Fig.(II,2). CONTAMINANTES PRESENTES EN LA  
ATMOSFERA DEL AREA METROPOLITANA  
DE LA CIUDAD DE MEXICO. 1975.

típica promedio de los contaminantes. Fig. (II,2)

A continuación se presenta una lista de los contaminantes gaseosos que se encuentran en nuestra ciudad, y se incluyen además, los sólidos en suspensión o polvos que se depositan al mes en un kilómetro cuadrado.

Principales Contaminantes de la Ciudad de México:

<u>contaminante</u>	<u>promedio</u>	<u>máximo</u>
monóxido de carbono (CO)	15.00 ppm.	100.00 ppm
dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0.16 "	1.60 "
óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	0.09 "	0.38 "
otros (hidrocarburos, aldehidos, cetonas, alcoholes, etc.)	0.76 "	_____
polvos	26.2 Ton/Km <sup>2</sup> /Mes	

fuelle: Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente.

Los primeros tres contaminantes mencionados, representan el 81% de los contaminantes registrados en las estaciones de monitoreo existentes en nuestra ciudad, representando mayor gravedad en el problema.

Efecto de los contaminantes en la salud humana

Si se tratara de encontrar un parámetro para la evaluación de los daños que causa la contaminación ambiental, indudablemente que éste sería el efecto que causan los contaminantes en la salud humana.

Para la humanidad en general, la conservación de la salud es la base primordial sobre la que descansan todas sus actividades; es por esto que los gobiernos de todos los países gastan enormes sumas de dinero para la prevención de la contaminación, y para el desarrollo de programas de salud pública.

La mayoría de nosotros hemos sentido alguna vez, en mayor o menor grado, las consecuencias de la contaminación, que se traducen en irritación de los ojos, lagrimeo y enfermedades en la garganta. Algunas personas muestran destrucción de los cilios bronquiales, falta de mucosidades bronquiales, localización de aire atrapado en los alvéolos pulmonares, etc...

Aunque no resulta muy apropiado examinar separadamente los efectos de cada uno de los contaminantes, ya que en el medio abierto no actúan en forma aislada, se tratarán sin embargo, individualmente, con el fin de describir mejor sus efectos. Cabe señalar que aunque existen numerosas publicaciones que abordan el tema de los efectos de la contaminación crónica sobre la salud, los resultados en gran número de ellos son parciales, debido, principalmente a la escasez de datos.

Debe aclararse que los daños a los trabajadores en las industrias, de ningún modo pueden extrapolarse a la población en general, ya que en la industria el problema lo constituye casi siempre uno o varios contaminantes cuya concentración llega a ser más elevada que la que se tiene en los medios de población abierta. Esta última se encuentra expuesta a un complejo grupo de contaminantes, pudiendo mencionar entre los principales a los siguientes:

1.- monóxido de carbono

2.- bióxido de azufre

3.- óxidos de nitrógeno

4.- hidrocarburos

5.- partículas

6.- plomo (metales pesados)

7.- bióxido de carbono; los cuales constituyen el problema público en nuestra ciudad. A continuación describiré los efectos individuales de estos contaminantes, y mencionaré algu-

nas medidas de prevención y control para combatirlos.

### 1.- Monóxido de Carbono (CO).

Es un gas sin olor ni color, causa dolor de cabeza, náuseas, vómito y dificultades respiratorias. Estos síntomas son producidos debido a que la hemoglobina de la sangre se combina 240 veces más rápido con el monóxido de carbono, formando la carboxihemoglobina, lo cual impide el transporte de oxígeno, al través de la hemoglobina, a los pulmones y tejidos, provocando lesiones en los tejidos más sensibles como son los del sistema nervioso central.

Existen estudios que señalan que el monóxido de carbono contenido en el ambiente puede ser perjudicial para algunas personas con enfermedades del sistema nervioso central, del sistema respiratorio o con anemias severas.

Puede ser que la letalidad aumente entre determinado número de enfermos, como los hospitalizados por infarto cardiaco. Es digno de mencionar, el hecho de que el monóxido de carbono no se acumula, por lo que la mayoría de los autores descartan la posibilidad de intoxicación crónica.

#### 1.1) Métodos de control.

Debido a que el monóxido de carbono es el contaminante que existe en mayor proporción en la zona metropolitana, y que su contribución a la contaminación atmosférica representa un 67%, generado en gran parte en las emisiones producidas en los motores de combustión interna, se realizan numerosos experimentos para tratar de controlar las emisiones de este contaminante. Todos los experimentos, algunos en desarrollo,

y otros ya aceptados, están concentrados en un programa para control de emisiones automotrices, que llevan a cabo la totalidad de las empresas automotrices.

Los automóviles hechos en México, están equipados ya satisfactoriamente con los controles de emisiones establecidos por las autoridades con objeto de reducir la contaminación atmosférica; así se desprende de los certificados de conformidad entregados a las industrias automotrices por la Secretaría de Industria y Comercio.

Desde 1971, la SIC, en coordinación con las empresas automovilísticas, estableció un programa para la incorporación de controles de emisiones, en cumplimiento a lo establecido por la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental. El programa contempla la incorporación gradual de controles, habiéndose iniciado con el control de las emisiones del cárter en 1971, y de los controles de las emisiones evaporativas del combustible en el tanque y en el carburador en 1972. Estos controles tienen por objeto el evitar que la gasolina y los hidrocarburos no quemados contaminen el medio ambiente.

A partir de 1974, el Gobierno Federal ha iniciado el control de las sustancias nocivas emitidas por el escape de los vehículos, solicitando a las empresas armadoras la instalación de dispositivos de control de gases de escape en todos los vehículos modelo 1975 en adelante. Con la incorporación de estos sistemas, ha declarado la SIC, se controlan todas las fuentes de emisiones contaminantes del vehículo.

Como ejemplo de un dispositivo de control de los gases de escape en automóviles, puedo citar el convertidor catalítico, desarrollado por General Motors de México, S.A. de C.V.; este convertidor catalítico ha sido usado en automóviles chevrolet con motores de ocho cilindros y

427 pulgadas cúbicas, y es en esencia un paralelepípedo rectangular que contiene en su interior platino como catalizador. Se coloca en el sistema de escape, en la sección que se denomina silenciador.

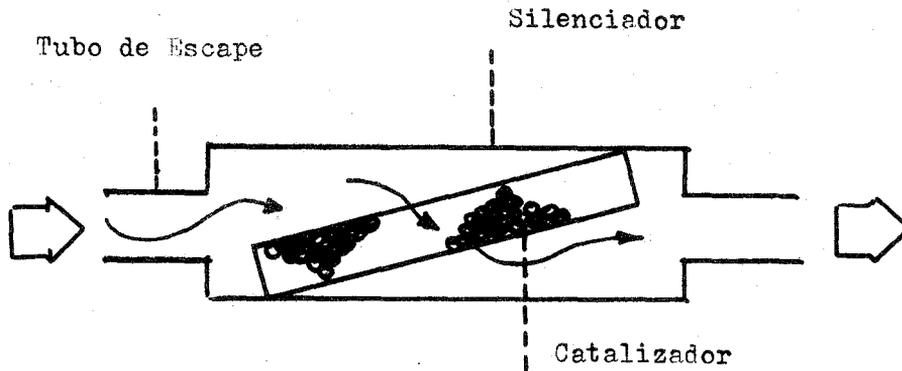


Fig. (II,3) Dispositivo de control de los gases de escape en-  
automóviles.

La función que realiza este convertidor es oxidar los hidrocarburos y el monóxido de carbono, que no fueron quemados completamente durante la combustión, y obtener agua y bióxido de carbono.

Dentro de las desventajas que presenta este sistema, se cuentan las siguientes:

- a) el sistema de escape debe estar aislado para mantener una alta temperatura y ayudar a la acción efectiva de la catálisis, afectando con esto la durabilidad.
- b) el catalizador deberá ser de platino, aumentando con esto el costo del sistema.
- c) la gasolina que deben usar estos motores no debe contener plomo, limitando, de esta forma su uso.

En lo que se refiere a las fuentes fijas de contaminación, - esto es, motores estacionarios, calderas, etc., se debe evitar la emi-

sión de sustancias nocivas, procurando obtener una buena combustión, esto significa mantener la relación adecuada de aire-gasolina, limpieza de todos los conductos, y en su caso, disponer de una chimenea con un tiro adecuado, etc.

## 2.- Bióxido de Azufre ( $SO_2$ ).

En general, los anhídridos sulfurosos son gases incoloros que en sí no tienen propiedades irritantes, pero que se pueden transformar en ácido sulfúrico y otros derivados sulfurosos que sí tienen ese poder. Lo anterior se puede presentar cuando el bióxido de azufre es absorbido junto con pequeñas partículas, que al parecer favorecen el fenómeno anterior, y dependiendo de la concentración atmosférica que se tenga, producirán el bronco espasmo por penetración profunda en la mucosa pulmonar, y en algunos casos, dependiendo del tiempo de exposición, puede causar daños irreparables.

### 2.1) Métodos de Control.

Uno de los métodos de control más eficientes para prevenir la contaminación producida por el bióxido de azufre, consiste en la desulfurización de los combustibles utilizados en la industria; si lo anterior no sucede, es necesario emplear algún tipo de equipo que controle la emisión de este contaminante a la salida de las fuentes emisoras. Estos equipos generalmente son torres de adsorción y de absorción.

La absorción se lleva a cabo en líquidos y ocasionalmente en sólidos; este proceso puede o no estar acompañado de una reacción química.

La adsorción se lleva a cabo en sólidos, y es un proceso fi-

sico que en algunos casos puede llegar a ser químico.

Por otra parte, existen en el mercado un gran número de aditivos (que en algunos casos actúan como catalizadores), que se añaden a los combustibles con el fin de evitar los trastornos de la contaminación. Algunas de las propiedades de estos aditivos, son por ejemplo, impedir la formación de un compuesto secundario por elevación de su punto de fusión, emulsificar las mezclas de aceite-agua, dispersar los sedimentos, etc.

### 3.- Bióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

Dentro de este grupo podemos incluir a los diversos óxidos nitrosos y al ozono, cuya acción nociva se relaciona más que nada con su capacidad para producir sustancias oxidantes.

El bióxido de nitrógeno es un gas que forma bruma o neblina, y que en unión de los hidrocarburos y de la luz solar forma el llamado smog fotoquímico, que tiene la apariencia de una neblina de color grisáceo y en algunos casos toma coloraciones de color café claro.

Produce irritación violenta en la mucosa nasal y conjuntival, lagrimeo y rinorrea que llega a producir insuficiencia respiratoria.

El ozono es el oxidante fotoquímico de un gran número de reacciones químicas, ya que proporciona o transporta el oxígeno necesario para que las reacciones se lleven a cabo. El ozono por sí mismo no es irritante, pero otros productos de sus reacciones sí lo son, como por ejemplo, la acroleína que además de ser irritante produce mareos y dolores de cabeza.

### 3.1) Métodos de control.

Los sistemas de control utilizados en este caso también están regidos por el programa para control de emisiones automotrices, al igual que los sistemas utilizados en el caso del monóxido de carbono.

En el caso de las fuentes móviles, los óxidos de nitrógeno se forman por la reacción entre el nitrógeno y el oxígeno a altas temperaturas durante el proceso de la combustión. Generalmente, reduciendo la temperatura se obtiene una disminución en la emisión de óxidos de nitrógeno.

En relación con lo anterior, el laboratorio de investigación en lubricantes y combustibles de General Motors de México, S.A., de C.V., ha desarrollado un control experimental denominado control de óxidos de nitrógeno (CON); y está basado en la recirculación de los gases de salida, haciéndolos pasar nuevamente al través del carburador, consiguiendo con esto una disminución de la temperatura por reducción de la mezcla aire-combustible. La desventaja que se tiene en este sistema está representada por un rendimiento inferior del automóvil.

Dentro de los sistemas generales de control podemos citar los siguientes:

- a.-) Torres empacadas y torres espreadoras; estos equipos operan con agua a contracorriente, sin embargo, sólo se utilizan para grandes concentraciones de óxidos de nitrógeno.
- b.-) Inyectores venturi; este tipo de equipo se puede utilizar para bajas concentraciones de óxidos de nitrógeno, obteniéndose buenos resultados. El agua es espreada axialmente en el gas que fluye a gran velocidad a través de la garganta del venturi; la enorme área interfacial entre el gas y el líquido atomizado provoca una buena absor-

ción de óxidos.

c.-) Adsorción en sílica-gel; en este sistema, los gases deberán tratarse antes de ser pasados por la sílica-gel. El bióxido de nitrógeno-adsorbido por la sílica-gel se recupera por calentamiento y se utiliza en la preparación de ácido nítrico u otros propósitos.

#### 4.- Hidrocarburos.

Este tipo de contaminantes por sí solos no son nocivos en las concentraciones atmosféricas en que se encuentran actualmente. Su principal característica, como ya se mencionó anteriormente, es que en presencia de la luz solar y de los óxidos de nitrógeno reaccionan para formar el denominado smog fotoquímico.

Las fuentes emisoras de hidrocarburos son los vehículos de motor de combustión interna y el humo del tabaco; en relación con este último, se ha establecido una relación entre el humo del tabaco y al cáncer pulmonar, mientras que no existe ningún estudio que nos indique la relación entre las emisiones de los vehículos de motor y el cáncer pulmonar. El sentir entre los científicos indica que si la contaminación atmosférica llegara a influir, su efecto sería insignificante comparado con el del cigarro.

#### 4.1) Métodos de control.

Los métodos de control utilizados en este punto, son básicamente los mismos que se mencionaron en los métodos anteriores, en cuanto que se refieren a emisiones producidas por vehículos de motor, y que se encierran en el programa para control de emisiones.

## 5.- Partículas.

Los estudios sobre los efectos en la salud, de las partículas en suspensión y de los anhídridos sulfurosos son los más numerosos. Al parecer los anhídridos sulfurosos en si, no tienen propiedades irritantes, pero se pueden transformar en ácido sulfúrico y otros derivados sulfurosos, que sí tienen ese poder. Las partículas en suspensión parecen tener acción catalítica que favorece este fenómeno. Además, las partículas de agua en suspensión actúan conjuntamente con los dos contaminantes mencionados, favoreciendo el aumento de síntomas respiratorios; así, se ha observado que cuando existe neblina los padecimientos respiratorios se incrementan.

Las partículas en suspensión son importantes no sólo por la acción catalítica comentada, sino porque pueden depositarse en las vías respiratorias. Este hecho está condicionado a algunas características de las partículas, como son su tamaño y procedencia. La partícula grande tiene menos oportunidad de ingresar al aparato respiratorio, por su peso, y si llega a entrar se retiene en las vías respiratorias superiores, sin alcanzar los pulmones.

### 5.1) Métodos de control.

Dependiendo de las propiedades físicas de la partícula, como por ejemplo, su temperatura, su tamaño y su estado, existe una gran variedad de equipos para su control. En base a su origen y a las características de la fuente emisora, podemos nombrar los siguientes equipos:

- lavadores (scrubbers), que generalmente operan con agua.
- precipitadores electrostáticos.
- ciclones.
- filtros.

Y, aunado a todos los equipos anteriores, tenemos el control de la combustión.

## 6.- Plomo.

El plomo, al igual que otros metales denominados pesados, como el arsénico, el mercurio y el cadmio, es un contaminante que en forma natural y como producto de la actividad humana, puede hallarse muy difundido, tanto en el suelo como en los alimentos, en el agua, en el aire y en algunos objetos en estrecho contacto con el hombre, como loza, baterías de cocina, juguetes, superficies cubiertas con pinturas de plomo, productos de incineración de plásticos que los contienen, etc...

Otra de las fuentes que contribuyen en gran proporción a la propagación de este problema, es la gasolina utilizada en los motores de combustión interna, que contiene plomo usado como antidetonante.

El plomo es un contaminante atmosférico que se absorbe y cuya acción sobre los seres humanos ha sido muy discutida. Cuando el plomo ingresa al organismo se almacena en los tejidos y llega a producir en individuos expuestos por mucho tiempo, disminución de la síntesis de la hemoglobina, daño renal y hepático, retraso mental en los niños y alteraciones de la fecundidad y del embarazo.

Los estudios realizados hasta la fecha concluyen con que no hay evidencia de que el plomo emitido por las diversas industrias o por los vehículos automotores alcancen niveles que produzcan efectos adversos en la salud humana, aún en las zonas de mayor tránsito automovilístico.

### 6.1) Métodos de control.

Debido a la gran diversidad de aplicaciones que tiene el plomo

mo en la industria, el método de control que ofrecería mejores resultados, es sin lugar a dudas, la eliminación del plomo o de sus compuestos existentes en las materias primas o auxiliares utilizados por los transportes y la industria en general.

Esta eliminación nos lleva a pensar en un sustituyente del plomo en los materiales donde su presencia es necesaria; lo anterior se pone de manifiesto en el caso de la gasolina, que se utiliza como combustible en los automóviles de combustión interna. Actualmente, Petróleos Mexicanos distribuye 2 tipos de gasolina; la primera de ellas contiene plomo que utiliza como antidetonante, la segunda no lo contiene, aunque esta eliminación se traduce en un mayor costo de la gasolina.

Por otra parte, las innumerables industrias que utilizan materias primas con un alto contenido de plomo, deberán fortalecer sus investigaciones con el fin de obtener un sustituyente de este metal, de tal manera que no represente una elevación excesiva en el precio de sus productos.

#### 7.- Bióxido de Carbono. ( $CO_2$ ).

Este gas que también es un producto de la actividad humana y en especial de la combustión (residuos de petróleo y diesel principalmente), no se considera como contaminante, puesto que toma parte activa en el proceso de fotosíntesis, fenómeno mediante el cual las plantas absorben el bióxido de carbono y lo transforman en oxígeno.

La gravedad en este caso, consiste en que el hombre, día a día, ha estado eliminando los espacios verdes que aún existen dentro de las ciudades, originando con ésto un desequilibrio en el aprovechamiento del bióxido de carbono.

El bióxido de carbono que no se utiliza, se está almacenando en la atmósfera, ocasionando con ésto un fenómeno que se conoce con el nombre de "efecto de invernadero"<sup>(1)</sup>, y que se forma cuando los rayos solares penetran a la atmósfera y chocan con la superficie de la tierra, convirtiéndose en calor todos estos rayos solares; esta energía térmica-infrarroja es impedida de salir hacia el exterior por la capa de bióxido de carbono que se ha formado.

Esto se debe presumiblemente a que la longitud de onda del bióxido de carbono impide el paso de los rayos infrarrojos.

Lo anterior nos lleva a suponer que la temperatura de la tierra y de la atmósfera está aumentando en forma considerable.

---

(1) Dr. H. E. LANDSBERG.

Director del Departamento de Climatología de la Oficina  
Metereológica de los Estados Unidos. 1964.

CAPITULO III

ANALISIS DE LAS VARIABLES DE OPERACION EN UN HORNO

UTILIZADO EN UNA CALDERA DE UN MOLINO DE NIXTAMAL.

Dentro del Capítulo de Análisis de las variables de operación del horno, interviene como herramienta principal la Ingeniería de Procesos, la cual nos provee de uno o varios sistemas para la determinación de las variables que intervienen en el proceso de acuerdo a su importancia y magnitud.

Esta importancia y magnitud de las variables se traducirá en un adecuado diseño del equipo o equipos que intervengan en el proceso; entendiendo como adecuado diseño, no solo la operación satisfactoria del equipo, sino la mayor eficiencia y economía posibles.

En el caso que se presenta en este trabajo, consistente en el análisis de las variables de la operación de un horno, se puede seguir un procedimiento general para efectuar el análisis; este procedimiento se lleva a cabo mediante la secuencia siguiente:

Problema Primitivo: Análisis de las variables de operación del horno.

Reunir toda la información pertinente o necesaria.

Eliminar información innecesaria.

Buscar información primordial o básica

Tener un objetivo.

Realizar varias alternativas.

Selección de las más viables

Estudio de Ingeniería.

Posibles variables que resuelven el problema primitivo.

Después de seguir el procedimiento anterior, se determinan las condiciones básicas para hacer un diseño; estas condiciones se refieren a las variables y son básicamente:

- 1.- Las variables que se tienen en un proceso.
- 2.- Las relaciones que rigen las variables anteriores.

Estas dos condiciones nos sirven como antecedente en la elaboración de los balances de materia y energía, que son los puntos de partida en todo diseño.

En relación con las variables podemos establecer lo siguiente:

- Cuando el número de variables es menor que las relaciones, el problema es absurdo o mal planteado.
- Cuando el número de variables es igual al número de relaciones, el problema está resuelto.
- Lo ideal es que el número de variables sea mayor que el número de relaciones.

La Ley de Gibbs nos ofrece una ecuación para relacionar el No. de variables y sus relaciones;

$$G = c - p + 2$$

G = Grados de libertad; corresponden al número de variables que podemos mover para hacer el diseño.

p = No. de fases; corresponde al No. de variables.

c = Componentes; corresponden al número total de variables.

Esta Ley se puede transformar en la siguiente ecuación para fines de diseño:

$$F = M - N - NR$$

donde;

F = Grados de libertad o variables independientes; corresponden al número de posibilidades de solución.

M = No. de variables totales que intervienen en el proceso.

N = Relaciones entre las variables; se refieren a las ecuaciones que nos ligan las variables anteriores.

NR = Restricciones;

Quando una variable tiene un valor conocido, automáticamente se convierte en una restricción o en una relación sin perder su valor de variable.

Las ecuaciones anteriores también se pueden aplicar para la obtención de los grados de libertad económicos.

#### VARIABLES QUE SE PUEDEN MANEJAR EN EL DISEÑO.

1.- Variables sujetas a un valor.

2.- Variables económicas. v.gr. gasto de servicios.

1.a.) Variables de valor conocido; no se pueden alterar o modificar; v.gr. Tipo de combustible.

1.b.) Variables fijadas por el medio ambiente; v.gr. presión atmosférica, humedad relativa, temperatura ambiente, velocidad del viento.

1.c.) Variables independientes; dependen del criterio del diseñador y se subdividen en 2 categorías:

1c.1) Afectan el diseño; v.gr. la posición del equipo.

1c.2) No afectan el diseño; v.gr. materiales de construcción.

1.d.) Variables dependientes; que dependen de las condiciones propias del proceso; también se subdividen en 2 categorías:

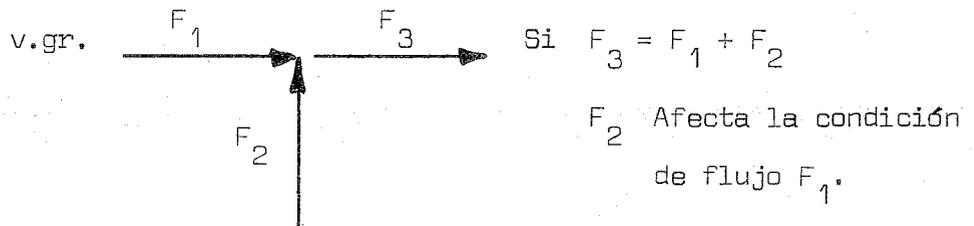
1.d1) Afectan el diseño; v.gr. temperatura de flujos, nivel de contaminación, calor de reacción, etc...

1.d2) No afectan el diseño; v.gr. longitud de tubos, diámetro, etc...

### Determinación de Variables

Esta determinación se hace en base a dos métodos principalmente.

1.- Método de Smith; se basa en el análisis de una corriente o flujo individual, y debido a esto, cualquier cambio en las variables nos afecta la condición de equilibrio.



2.- Método de Rudd; se basa en conocer las variables en forma intuitiva u objetiva con el conocimiento suficiente del equipo. Es necesario tomar las condiciones tal y como se siguen en el proceso.

En este Método podemos aplicar el siguiente principio:

"Diseña sólo lo que dominas".

Debido a las facilidades que brinda este sistema, es el que utilizaremos para la determinación de las variables del horno.

Aunado al método para la determinación de variables, es necesario emplear un método de diseño que nos ofrezca una buena relación entre las variables.

El Método de Wilson, Lobo y Hottel para el diseño de hornos, es un método empírico que puede usarse en hornos calentados indistintamente con gas o petróleo, y donde el flux de calor oscila entre 5,000 y 30,000 BTU/(hr) (ft<sup>2</sup> de superficie de tubo circunferencial). La temperatura en la superficie de los tubos no deberá exceder en más de 400° F a la temperatura de salida del gas de combustión en la sección radiante. La longitud promedio del rayo no deberá ser menor de 15ft (esta longitud se calcula de acuerdo al volumen del horno). Así mismo, y como parte fundamental, este método utiliza el factor total de intercambio ( $\mathcal{F}$ ), que se relaciona con la Geometría del Sistema y las emisividades de los cuerpos calientes y fríos; este método se basa en la ecuación de Stefan-Boltzmann utilizada en radiación;

$$\frac{Q}{A} = 0.173 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

A continuación, se transcriben las ecuaciones que representan el método descrito anteriormente y que servirán para hacer el análisis de las variables por el Método de Rudd.

Una relación más extensa de ecuaciones está en base a un diseño determinado de alguna característica del horno, y que requiere el conocimiento del combustible utilizado y de los productos de combustión formados.

Con las ecuaciones que se citarán aquí, se puede hacer una extensión para el cálculo de áreas, temperaturas de salida del gas, etc., que se aplicarían si el problema así lo requiere.

$$Q = 0.173 \mathcal{F} \left[ \left( \frac{T_g}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_s}{100} \right)^4 \right] \alpha A_{cp} \dots\dots\dots (1)$$

Ecuación para la transferencia de calor radiante hacia la superficie fría.

Si añadimos el calor por convección, la transferencia total de calor radiante hacia la superficie fría será:

$$\Sigma Q = 0.173 \mathcal{F} \left[ \left( \frac{T_g}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_s}{100} \right)^4 \right] \alpha_{cp} A_{cp} + hcA(T_g - T_s) \quad \dots \quad (2)$$

En esta ecuación el coeficiente de transferencia de calor por convección,  $hc$ , que solamente se presenta en la sección de los tubos, también tiene un valor muy bajo  $\pm 2.0$ .

Mediante las siguientes suposiciones,  $A = 2.0 \alpha_{cp}$  y Si:

$\mathcal{F} = 0.57$  (es un valor que se aplica en el común de los casos, debido a que la experiencia lo ha considerado así), la ecuación (2) nos queda:

$$\frac{\Sigma Q}{\alpha_{cp} \mathcal{F}} = 0.173 \left[ \left( \frac{T_g}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_s}{100} \right)^4 \right] + 7(T_g - T_s) \quad \dots \quad (3)$$

Esta es básicamente una ecuación de flux que agrupa la transferencia de calor por radiación y por convección, y que relaciona el calor con el área.

$$\frac{Q}{Q_F} = \frac{1}{1 + (G'/4200) \sqrt{Q_F/\alpha_{cp}}} \quad \dots \quad (4)$$

Esta ecuación nos relaciona el calor total en la sección de radiación con el calor liberado en el combustible, incluyendo la relación de cantidad de aire utilizada por cantidad de combustible.

Para complementar las ecuaciones anteriores, es necesario efectuar un balance de calor, y poder resolver el problema de absorción de calor.

$$Q = Q_F + Q_A + Q_R + Q_s - Q_w - Q_G \quad \dots \quad (5)$$

Generalmente,  $Q_s$  se omite ya que es el calor sensible del vapor utilizado para atomización; por lo tanto, la ecuación (5) nos queda:

$$Q_F + Q_A + Q_R - Q_w = Q_{\text{neto}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Por otra parte, es necesario evaluar  $Q_G$  que es el calor que se desprende del horno con los gases de combustión a la temperatura  $T_G$ .

$$Q_G = w(1 + G') C_{av}(T_G - 520) \quad \dots\dots\dots (7)$$

En el caso de que se tenga algún material refractario, se aplica la siguiente ecuación para obtener la superficie de material utilizado, y que relaciona el área total del horno y la superficie o área equivalente de plano frío.

$$A_R = A_T - \alpha A_{cp} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Algunos autores recomiendan utilizar la eficiencia del horno como un factor de diseño:

$$e = \frac{\sum Q}{Q_F} \times 100 \quad \dots\dots\dots (9)$$

Variables utilizadas:

$Q$  = Calor total en la sección de radiación, BTU/hr.

$0.173$  = cte. Stefan-Boltzmann;  $0.173 \times 10^{-8}$  BTU/(hr)(ft<sup>2</sup>)(°R<sup>4</sup>)

$F$  = Factor de intercambio total, que agrupa la geometría del sistema y las emisividades de los cuerpos calientes y frío, es adimensional. Este factor se puede calcular mediante la gráfica (III, 1), que requiere para su uso de 2 cosas:

1o.- La emisividad del gas, que considera el análisis del combustible, la cantidad de vapor, la suposición de que la humedad del aire sea de 50% de saturación a 60°F, y las presiones parciales de CO<sub>2</sub> y

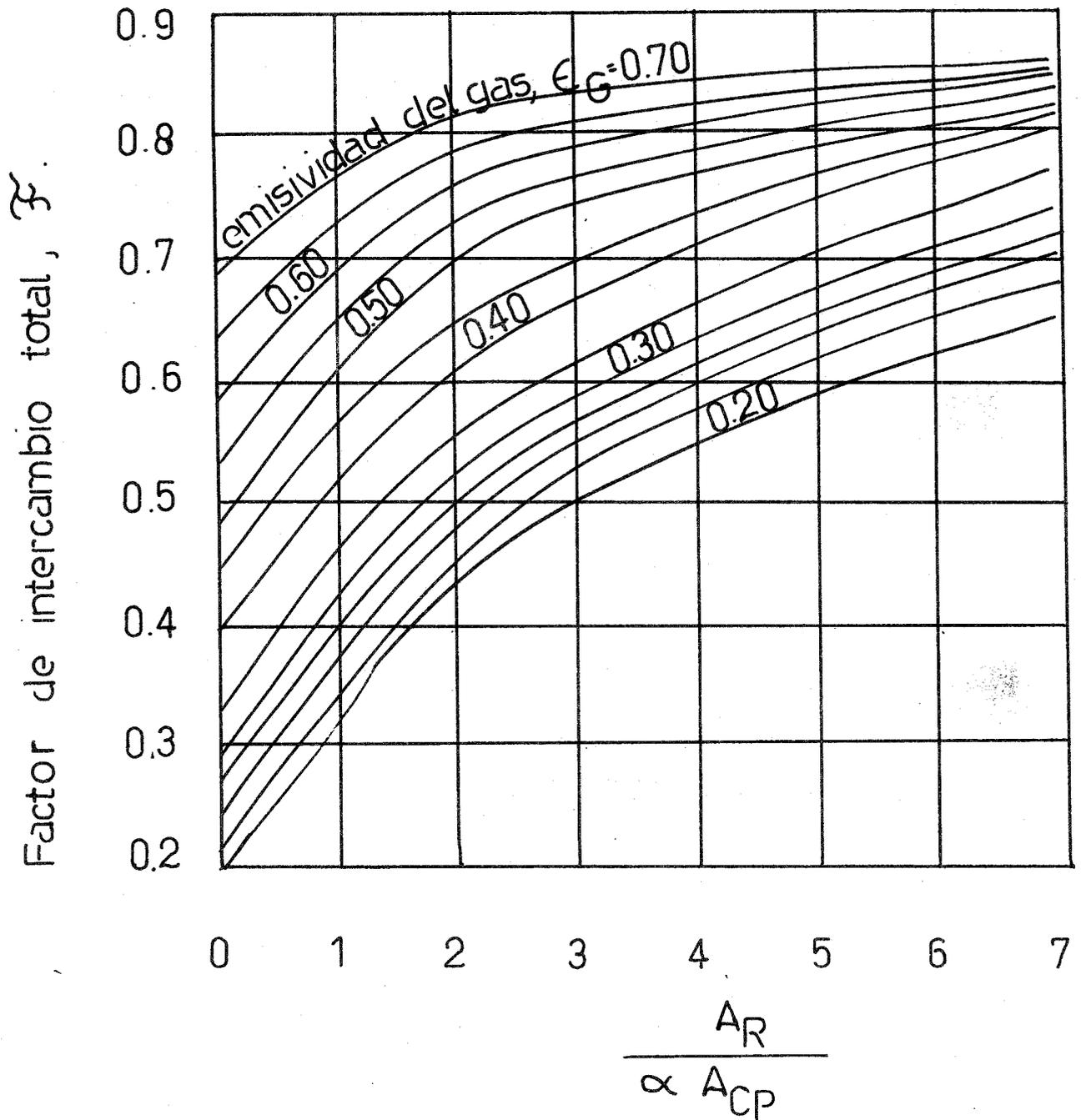


Fig.(III,1). Factor de intercambio total en las secciones de radiación.

de  $H_2O$  en los gases de combustión con un exceso de aire de 25%.

$$\epsilon_G = \left[ \frac{(q_c + q_w)T_G - (q_c + q_w)T_s}{(q_b)T_G - (q_b)T_s} \right] \frac{100 - \%}{100}$$

$q_c$ ,  $q_w$ ,  $q_b$ ; Flujo de calor del  $CO_2$ ,  $H_2O$  y cuerpo negro.

$q_c = 0.173 \epsilon_c (T/100)^4$ ; Medido a la presión parcial de  $CO_2$  y multiplicado por  $L$ , obtenidas a la temperatura de salida del horno.

$q_w = 0.173 \epsilon_w (T/100)^4$  Medida a la presión parcial de  $H_2O$

$q_b = 0.173 \epsilon_b (T/100)^4$ ;  $\epsilon_b = 1.00$ ; la emisividad del cuerpo negro se considera = 1.00

$L =$  Longitud promedio del rayo =  $2/3 \sqrt[3]{\text{volumen del horno.}}$

$\epsilon_b$ ,  $\epsilon_w$ ,  $\epsilon_c$ ; Emisividades de cuerpo negro,  $H_2O$  y  $CO_2$ ; sus valores se encuentran en la literatura.

Todos estos valores se encuentran agrupados en las gráficas (III,2) y (III,3) para  $CO_2$  y  $H_2O$  respectivamente.

2o.- De la relación  $\frac{A_R}{A_{cp}} = \frac{\text{superficie refractaria efectiva}}{\text{sup. equivalente de plano frío.}}$

$T_G =$  Temperatura de los gases que salen de la sección de radiación, °R

$T_s =$  Temp. de la superficie de los tubos, °R

$A_{cp} =$  Area de superficie fría que puede substituir a un banco de tubos -  $ft^2$ .

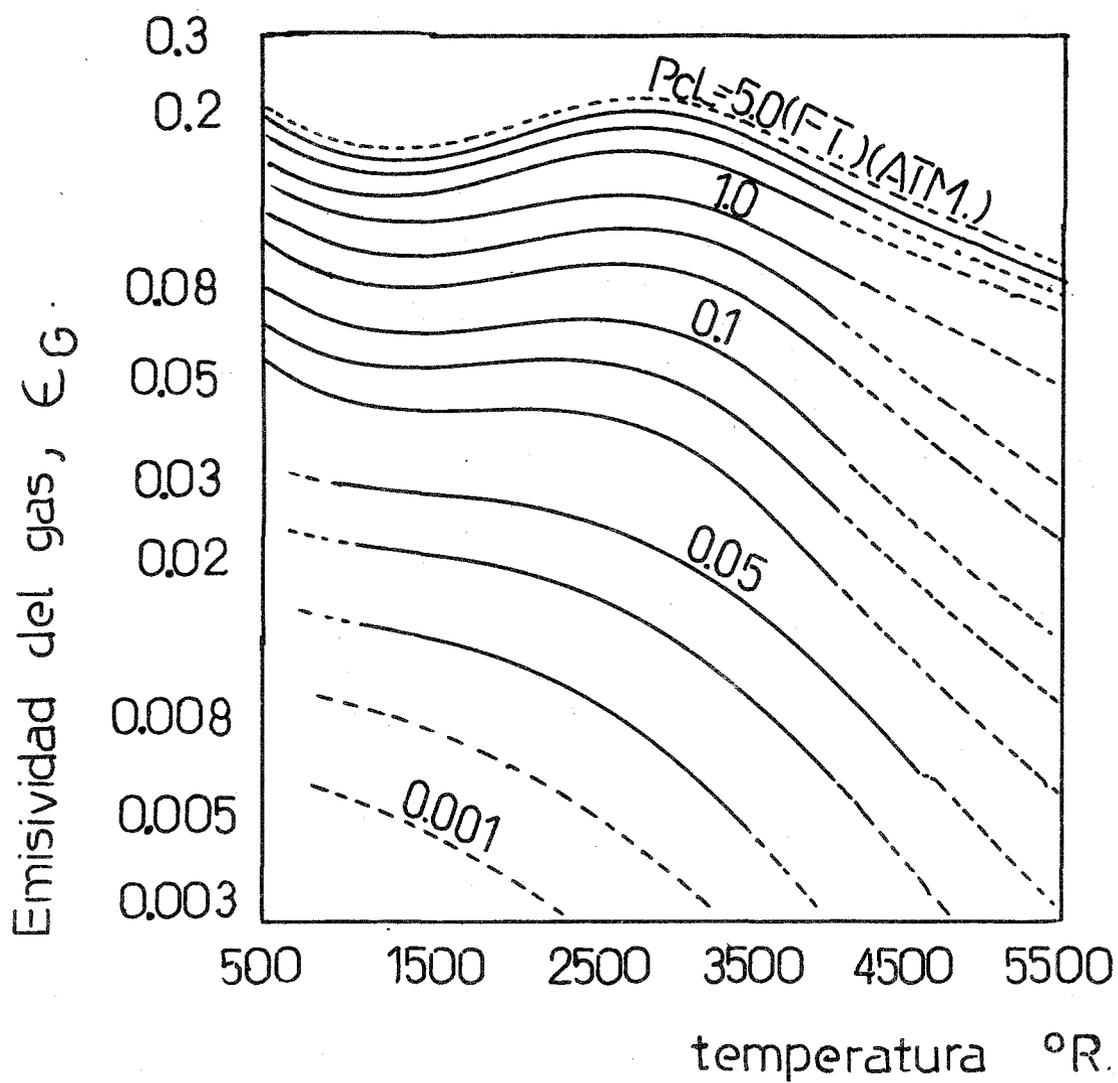


Fig.(III, 2) Emisividad del bióxido de carbono. PT. 1 atm.

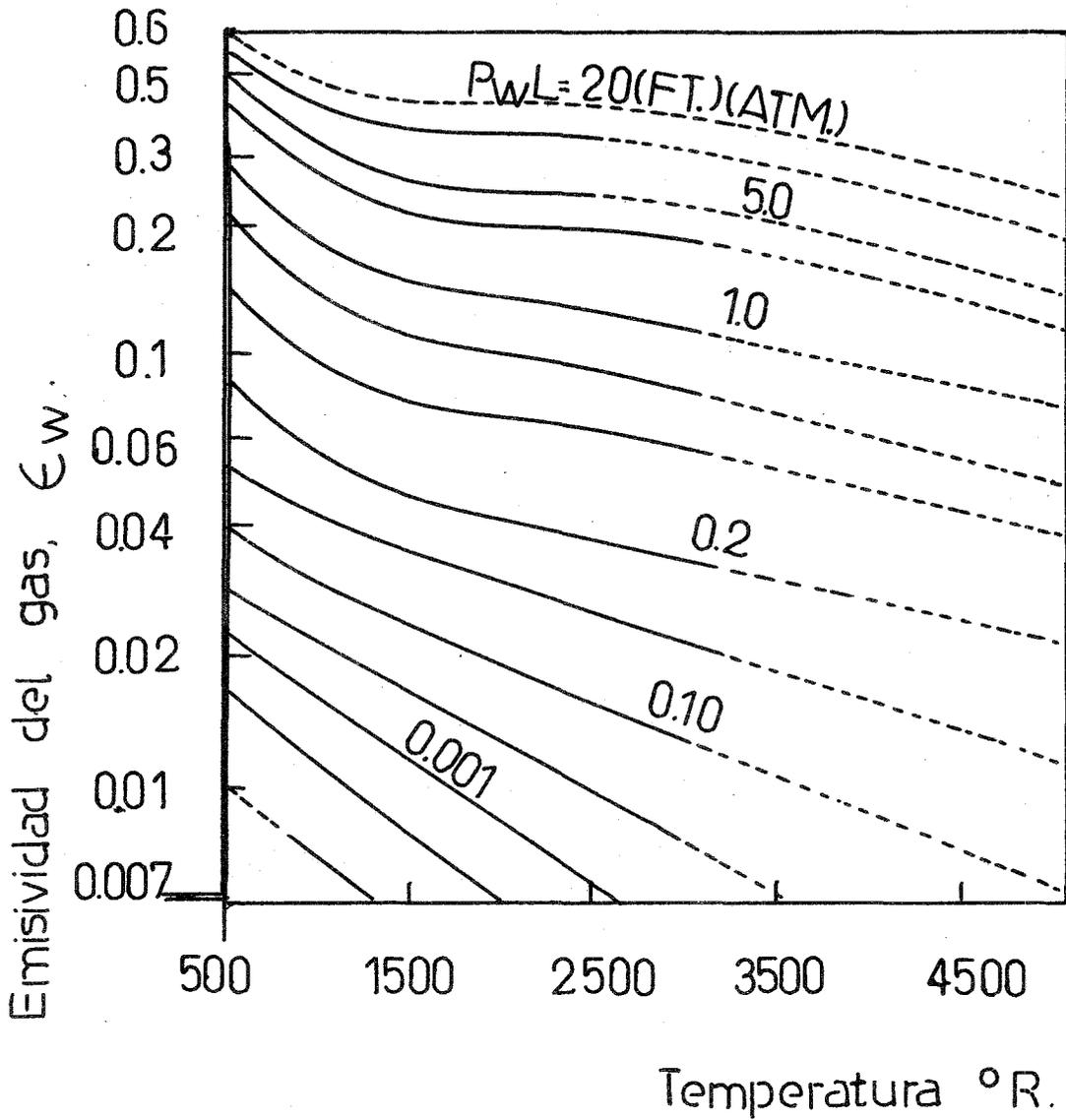


Fig.(III,3 ). Emisividad de vapor de agua.  
(presión parcial = 0. PT. 1 atm.)

$\alpha$  = Factor de efectividad, por medio del cual  $A_{cp}$  debe ser reducido - para obtener la superficie fría efectiva, adimensional. Se calcula mediante la gráfica (III,4), que requiere conocer la siguiente relación: Espaciamiento entre tubos/Diámetro de tubos.

Notación de Variables:

$h_{hc}$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección, BTU/(hr) -  
(ft<sup>2</sup>) (°F)

$W$  = Cantidad de combustible utilizado, lb/hr.

$G'$  = Relación entre el aire utilizado y el combustible, lb aire/lb combustible.

$Q_A$  = Calor sensible en el aire de combustión, por arriba de 60°F, --  
BTU/hr

$Q_R$  = Calor sensible de los gases recirculados, por arriba de 60°F, --  
BTU/hr.

$Q_s$  = Calor sensible del vapor utilizado para atomización, medido arriba de 60°F, BTU/hr.

$Q_F$  = Calor liberado por el combustible, BTU/hr.

$Q_w$  = Calor perdido a través de las paredes del hogar BTU/hr. (1 a 10% de  $Q_F$ , dependiendo del tamaño, temperatura y construcción del hogar, se recomienda 2%).

$Q_G$  = Calor de los gases que salen de la sección de radiación, BTU/hr.

$C_{av}$  = Calor específico promedio de los gases de salida entre  $T_G$ , °R y --  
520°R, BTU/(lb) (°F).

$A_R$  = Superficie refractaria efectiva, ft<sup>2</sup>.

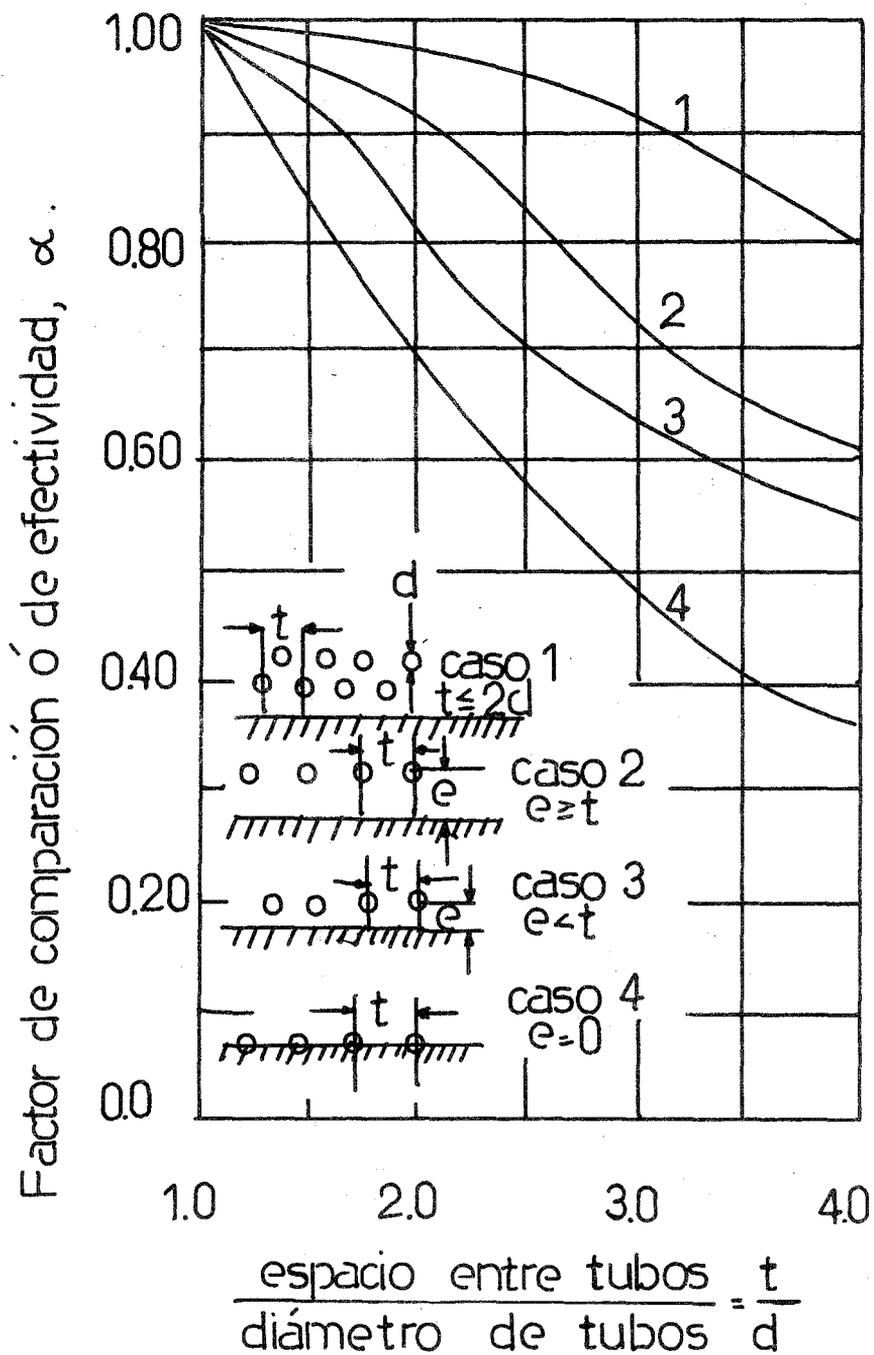


Fig.(III, 4). Factor de comparación con los cuerpos negros, para varios arreglos de tubos.

$A_T$  = Area total del horno,  $\text{ft}^2$ .

$\alpha_{\text{Acp}}$  = Superficie equivalente de plano frío;  $\text{ft}^2$

$e$  = Eficiencia

NC = Nivel de contaminación; en todo proceso nuevo, es necesario tomar en cuenta el nivel de contaminación como una variable más en todo diseño; ésta depende de las normas que rigen la emisión de contaminantes, y que están regidas por la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental del 23 de Marzo de 1971.

#### Clasificación Final de las Variables.

1.- Variables sujetas a un valor;

1.a.- Variables de valor conocido;  $Q_F$ ,  $W$ ,  $N.C.$

1.b.- Variables fijadas por el medio ambiente; Presión atmosférica, Humedad relativa, Velocidad del viento, Temperatura ambiente.

1.c.- Variables independientes -- Afectan el diseño:  $G'$ ,  $e$ .

-- No afectan el diseño;  $K$

1.d.- Variables dependientes -- Afectan el diseño;  $T_s$ ,  $\alpha$ ,  $T_G$ ,  $F$ ,  $h_c$ ,

$Q$ ,  $Q_A$ ,  $Q_G$ ,  $Q_R$ ,  $Q_w$ ,  $A_T$ ,  $A_{cp}$ .

-- No afectan el diseño: Long. de tubos.

2.- Variables económicas; están relacionadas con el tiempo de operación, en lo referente a gasto de servicios, y en los materiales de construcción.

Dentro de la clasificación final de las variables, destacan por su importancia, las variables de valor conocido, como son el calor liberado por el combustible, y la cantidad empleada del mismo. Estas variables son las que podemos manejar en un principio para el diseño de cualquier tipo de horno, puesto que el tamaño del horno estará en base al combustible utilizado.

Por otra parte, la variable denominada nivel de contaminación (NC), representa un punto de partida en todo diseño, el cual debe ajustarse a los niveles permitidos de contaminación.

Todas las variables restantes están en función de estas tres principalmente, y de las variables fijadas por el medio ambiente.

CAPITULO IV

PROYECTO DE UN SISTEMA PURIFICADOR DE--  
LOS GASES Y PARTICULAS EFLUENTES DE --  
UNA CALDERA DE TUBOS DE HUMO UTILIZADA  
EN UN MOLINO DE NIXTAMAL.

Con la finalidad de proporcionar una idea de la importancia de la industria del nixtamal en el Distrito Federal y la zona Metropolitana, considero que es conveniente analizar el consumo de combustibles utilizados por la industria durante un tiempo determinado, y relacionarlo con el consumo total de combustibles en toda la zona.

En la zona Metropolitana y el Distrito Federal, se encuentran funcionando un total de 1300 molinos de nixtamal, agrupados por Delegaciones y Municipios como se ilustra en la figura (I,1). (Según la Comisión Nacional de la Industria del Maíz para consumo Humano). Esta cantidad de molinos implica un requerimiento de maíz de 2,300 toneladas por día, lo que significa que se consumen en promedio 1,769 toneladas de maíz por día por molino.

De acuerdo con los datos anteriores, y considerando que del número total de molinos, el 15% de los mismos utiliza gas L.p. como combustible en sus calderas; del 85% restante, el 45% utiliza combustóleo, el 40% combustible Diesel, y el 15% restante petróleo diáfano.

Por otra parte, y de acuerdo a las densidades de los combustibles y su valor calorífico bruto, la experiencia adquirida a través de los años, nos indica que se requieren las siguientes cantidades de combustible para calentar el agua necesaria para preparar una tonelada de maíz, y convertirlo a nixtamal:

- 40 litros de gas l.p. / ton. maíz.
- 27 " " combustóleo / ton maíz.
- 33 " " combustible Diesel / ton. maíz.
- 37 " " petróleo diáfano / ton. maíz.

Relacionando estas cantidades con el consumo de maíz, obtene

mos el consumo diario de combustibles utilizados por la industria:

### Gas l.p.

1300 molinos totales x 15% que utiliza gas l.p. = 195 molinos  
que utilizan  
gas l.p.

195 molinos x 1,769 ton. maíz/día/molino = 344.95 ton.maíz/día

344.95 ton. maíz/día x 40 litros gas l.p./ton.maíz = 13,798

litros gas l.p./día.

### Combustóleo

El combustóleo se vende comercialmente en dos clasificaciones; ligero y pesado, dependiendo de la viscosidad. En este punto, y debido a la ausencia de información, utilicé un promedio de los dos tipos, basándome en su peso específico y su graduación en grados A.P.I.:

1300 molinos totales x 85% = molinos que utilizan otro combustible diferente al gas l.p.=  
1105.

1105 x 45% = 497.25 molinos que utilizan combustóleo

497.25 molinos x 1.769 ton. maíz/molino/día = 879.63 ton.maíz/  
día

879.63 ton. maíz/día x 27 litros combustóleo/ton.maíz = 23,750

litros combustóleo/día

### Combustible Diesel

1105 molinos totales x 40% = 442 molinos que utilizan Diesel.

442 molinos x 1.769 ton.maíz/molino/día = 781.89 ton. maíz/día.

781.89 ton. maíz/día x 33 litros Diesel/ton.maíz = 25,802.37 litros Diesel  
día

Petróleo diáfano.

1105 molinos totales x 15% = 165.75 molinos que utilizan petróleo diáfano.

165.75 molinos x 1.769 ton.maíz/molino/día = 293.21 ton.maíz/día

293.21 ton.maíz/día x 37 litros petróleo diáfano/ton.maíz = 10,848.77

litros petróleo diáfano  
día

En resumen, la industria del nixtamal consume:

13,798.00	litros de gas l.p./día
23,750.00	" " combustóleo/día
25,802.37	" " combustible Diesel/día
10,848.77	" " petróleo diáfano/día.

Estas cantidades se pueden relacionar con el consumo diario de combustibles en todo el Distrito Federal y la zona metropolitana (consumo proporcionado por la Gerencia de Ventas de Petróleos Mexicanos), y obtener el consumo, anotado en porcentaje, que ocupa la industria estudiada. Para el presente trabajo únicamente se considera el combustóleo y el Diesel, que son los combustibles utilizados en nuestra caldera;

Consumo diario de combustóleo en toda la zona = 7,950,000 litros

" " " " utilizado por la industria = 23,750 litros;

esta cantidad representa el 0.30% del total de combustóleo utilizado en la zona.

Consumo diario de Diesel en la zona = 2,226,109 litros

" " " " utilizado por la industria = 25,802.37 litros;

esta cantidad representa el 1.16% del total de Diesel utilizado en la zona. Los datos anteriores representan un consumo promedio diario, durante el año 1975.

Estos porcentajes pueden ser significativos dentro de la contaminación originada por fuentes estacionarias y activadas por estos combustibles, si los relacionamos con la importancia industrial que tienen los municipios y delegaciones donde se encuentran instaladas estas industrias; así por ejemplo, tenemos a la delegación de Azcapotzalco que representa el 16% de la producción industrial total en la zona metropolitana y que cuenta con 74 molinos de nixtamal. En segundo lugar tenemos el municipio de Naucalpan que representa el 8% de la producción industrial y que cuenta con 81 molinos.

En tercer lugar está el municipio de Tlalnepantla con una participación industrial del 7.8% y con un total de 132 molinos de nixtamal. Estos tres municipios y delegaciones son los más importantes por su participación industrial (según el Centro de Estudios Económicos del Sector Privado A.C., en el análisis de la potencialidad económica del área metropolitana, 1970).

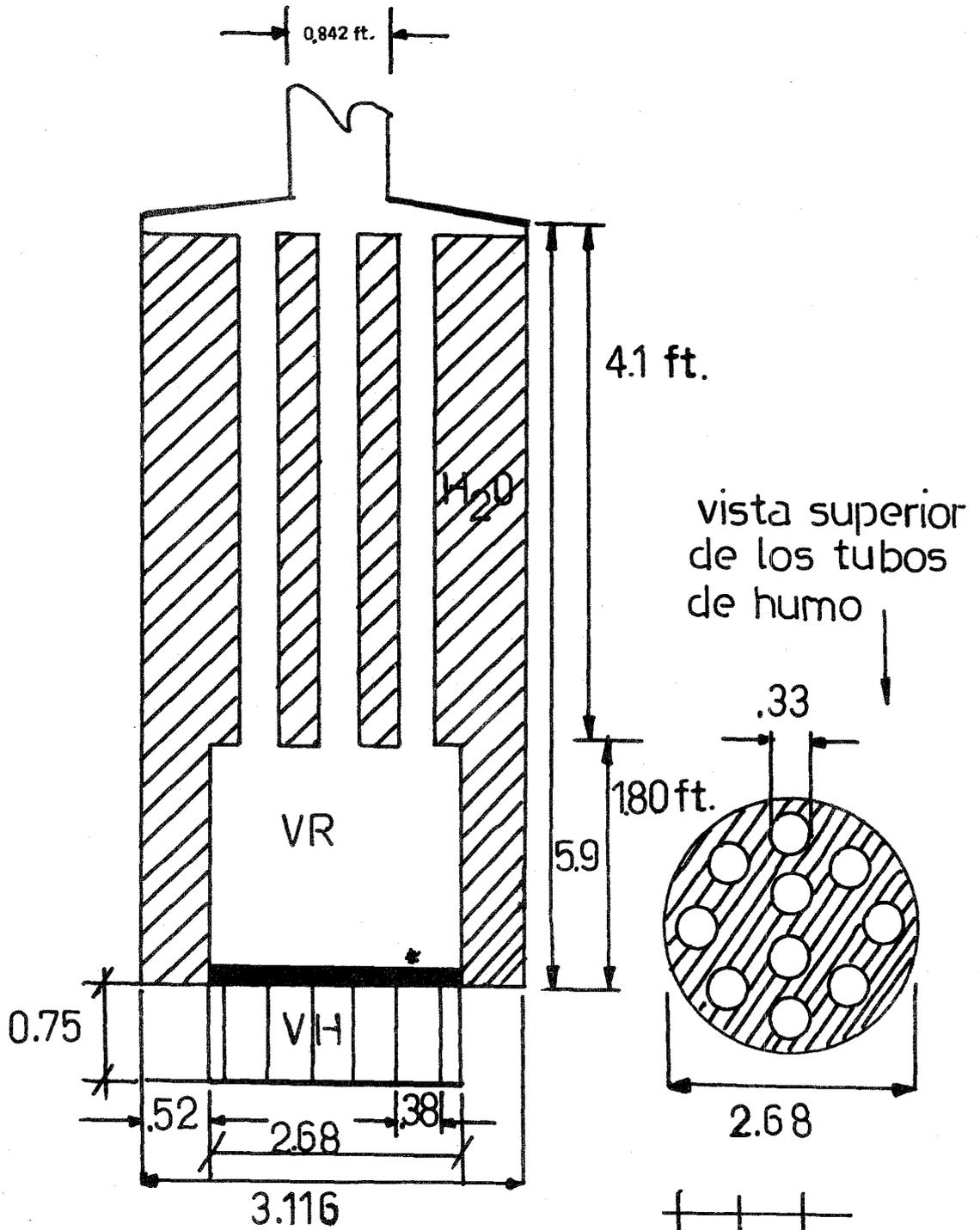
Un análisis a fondo, de todo lo expuesto anteriormente, implicaría el cálculo de factores de emisión de los contaminantes, en base al consumo de combustibles y al tipo de proceso o industria, para de esta forma, poder evaluar el porcentaje con el cual contribuyen las delegaciones y municipios a la contaminación ambiental, y en este caso particular, la contribución de contaminantes producidos por las calderas de los molinos de nixtamal.

Por todo lo expuesto anteriormente, he creído conveniente dar a conocer un proyecto de un sistema purificador de gases y partículas efluentes, provenientes de la combustión de combustibles líquidos, principalmente de combustóleo y Diesel, que se lleva a cabo en los hogares de las calderas de tubos de humo que son las utilizadas por esta in-

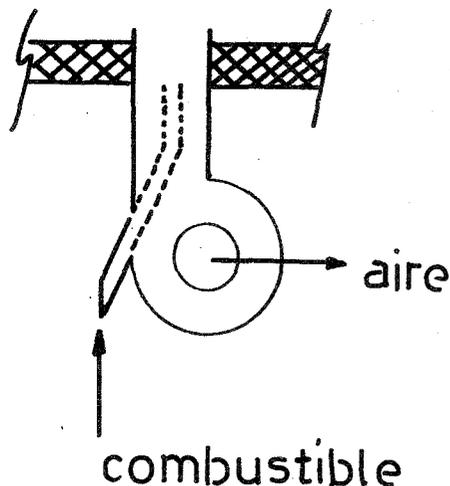
dustria.

Para una adecuada proposición del sistema purificador, es - conveniente analizar el suministro de combustible a la caldera, así como, sus propiedades físicas y el análisis químico del mismo. Después de hacer lo anterior, se procedió a medir las temperaturas de operación, la - cantidad de combustible utilizado y la evaluación de los contaminantes - emitidos. Así mismo, se hace una descripción gráfica de la caldera utilizada.

# CORTE LONGITUDINAL DE LA CALDERA Y DEL HORNO (HOGAR).



\*tubos-soporte (5),  $\phi=0.32$  ft.



EL HOGAR DE LA CALDERA DESCRITA EN LA-PAGINA ANTERIOR, SE ALIMENTA DE COMBUSTIBLE MEDIANTE UN QUEMADOR DE TIPO "CAÑÓN"; DONDE EL COMBUSTIBLE ES PREMEZCLADO EN UN TURBOSPLADOR, COMO SE ILUSTR EN EL DIAGRAMA ANEXO.

ESTE QUEMADOR ESTA EQUIPADO CON UN MOTOR ELECTRICO DE 1/2 H.P., TRIFASICO, — 220/440 VOLTS, 50/60 CICLOS/SEGUNDO, Y — CON UNA VELOCIDAD DE 3,400 R.P.M. LA CAPACIDAD MAXIMA DE AIRE DEL QUEMADOR ES DE — 360 M<sup>3</sup>/HORA.

VR, VOLUMEN DE LA SECCION DE RADIACION (PERTENECIENTE AL BOILER O CALDERA);

$$D = 2.068 \text{ FT.}$$

$$r = 1.034 \text{ "}$$

$$h = 1.80 \text{ "}$$

$$VR = \pi r^2 h = (3.14)(1.034)^2(1.8) \\ = \underline{\underline{6.05 \text{ FT}^3}}$$

VH, VOLUMEN DEL HOGAR;

$$D = 2.068 \text{ FT.}$$

$$r = 2.068 - 0.20(2) = 1.668/2 = 0.834$$

$$h = 0.75$$

$$VH = (3.14)(0.834)^2(0.75) \\ = \underline{\underline{1.63 \text{ FT}^3}}$$

CAPACIDAD EN AGUA DE LA CALDERA: 35.2 FT<sup>3</sup>.

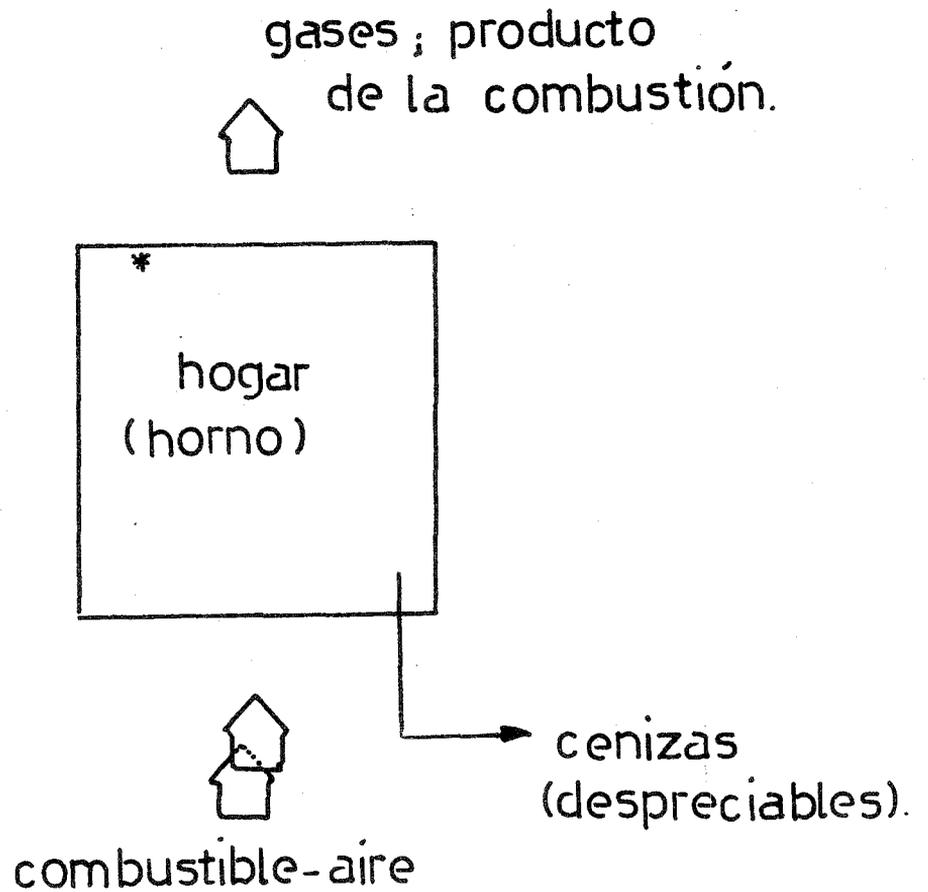
CAPACIDAD DEL BOILER: SI 1 BOILER H.P.= 33.475 BTU/HR., Y SI TENEMOS

$$462,220 \text{ BTU/HR.} \cdot \frac{462,220}{33,475} = \underline{\underline{13.80 \text{ H.P. DEL BOILER O CALDERA.}}}$$

EL QUEMADOR PROPORCIONA APROXIMADAMENTE 85% DEL AIRE TOTAL DE COMBUSTION; EL RESTO ES SECUNDARIO.

LA OPERACION DE LA CALDERA ES INTERMITENTE. FUNCIONA SOLO 4 HR./DIA Y — UTILIZA 12 LITROS DE COMBUSTIBLE POR HORA, CON UN VALOR CALORIFICO DE — — 19100 BTU/lb, POR LO TANTO, 19100 — BTU/lb x 24.2 lb/HR = 462,220 BTU/HR.





\* temperatura en el límite superior del horno.

— especificaciones en la siguiente página.

ESPECIFICACION DEL COMBUSTIBLE Y DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTION.

COMBUSTIBLE:

- . 50 litros/día.
- . peso específico a 20°C = 0.912
- . " " API, 60/60°F (Baumé) = 24.45
- . temperatura de inflamación, °C = 74.70
- . viscosidad, centipoises = 213.95
- . valor calorífico bruto, BTU/lb = 19,100
- . análisis elemental:
 

carbón	-	82.52 %	( masa )
hidrógeno	-	11.34 %	"
azufre	-	3.09 %	"
nitrógeno	-	3.01 %	"
cenizas	-	<u>0.04 %</u>	"
Total:		100.00	

AIRE:

En este punto se considera como aire, la suma del aire requerido para la combustión, más el aire de exceso necesario.

- . aire = 33.1788 lb de aire/lb de combustible.
- . el 85% de esta cantidad (28.20 lb), lo proporciona el quemador.
- . el 15% restante se proporciona por las ventanas de la caldera, del hogar, y por la chimenea.

PRODUCTOS DE LA COMBUSTION:

- |                       |  |                          |   |                    |
|-----------------------|--|--------------------------|---|--------------------|
| . valores obtenidos a |  | . CO <sub>2</sub>        | = | 6.25 % en volumen. |
| una distancia de 3.2  |  | . H <sub>2</sub> O vapor | = | 8.15 % "           |
| ft. desde el límite   |  | . SO <sub>2</sub>        | = | 0.07 % "           |
| inferior de chimenea. |  | . NO <sub>2</sub>        | = | 4.57 % "           |
| . temperatura de la   |  | . N <sub>2</sub>         | = | 74.40 % "          |
| medición; 750 °F      |  | . O <sub>2</sub>         | = | <u>5.43 %</u> "    |
|                       |  | Total:                   |   | 99.87              |

bióxido de carbono, % en volumen.

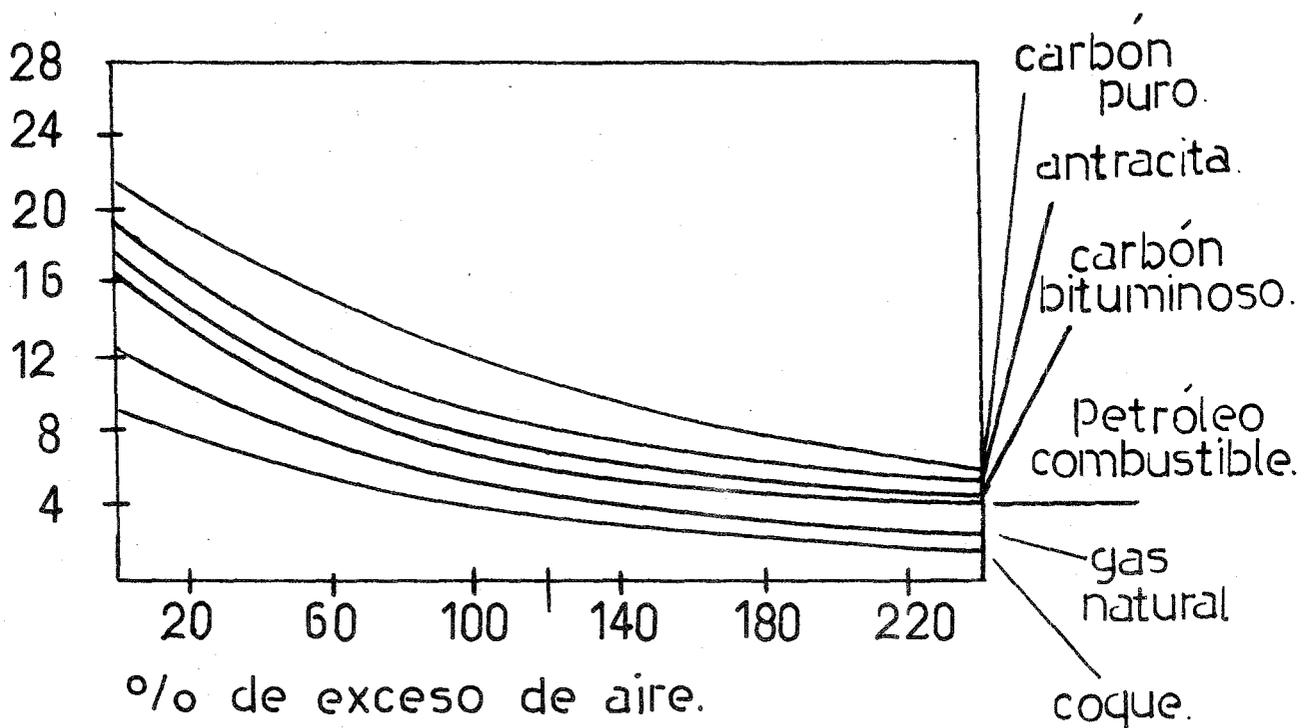


Fig.( V,1 ) Análisis del efecto del exceso de aire en los gases de combustión que contienen  $\text{CO}_2$ .

Tabla IV, 1. Pérdidas de calor en los gases de combustión.

( Combustión Completa, no existe CO ).

% CO <sub>2</sub> (volumen)	Combustible	%de aire en exceso ( peso )	Porcentaje Aproximado de Pérdidas de calor en los Gases de Combustión.					
			300	400	500	600	700	800°F
6	carbón bituminoso	173	11.7	19.3	27.0	34.7	42.5	50.1
6	petróleo comb.	140	16.3	21.1	25.7	30.2	34.9	39.3
6	gas natural	90	18.2	21.9	25.6	29.5	33.3	37.2
8	carbón bituminoso	117	8.8	14.7	20.5	26.2	32.0	37.8
8	petróleo comb.	82	14.0	17.3	21.0	24.7	28.3	31.7
8	gas natural	45	16.5	19.4	22.3	25.2	27.9	31.0
10	carbón bituminoso	81	7.4	12.0	16.6	21.3	26.2	31.0
10	petróleo comb.	47	12.6	15.3	18.5	21.3	24.3	27.1
10	gas natural	18	15.5	17.8	20.3	22.7	25.2	27.5
12	carbón bituminoso	54	6.2	10.0	14.0	18.0	22.0	26.3
12	petróleo comb.	23	11.7	14.1	16.7	19.1	21.7	24.1

Gases de Salida, provenientes de quemar 1 lb. de combustóleo:

Compues to	O r i g e n	Cantidad (lb)	Cantidad ( lb mol)	% peso	% molar	% volumen
CO <sub>2</sub>	combustión	3.0257	0.069	8.850	6.25	6.25 *
SO <sub>2</sub>	"	0.0618	0.001	0.180	0.07	0.07
NO <sub>2</sub>	"	0.0988	0.002	0.289	4.57	4.57
H <sub>2</sub> O	"	1.0206	0.056	2.986	8.15	8.15
N <sub>2</sub>	aire total	25.4813	0.911	74.553	74.40	74.40
O <sub>2</sub>	exceso aire	4.4902	0.140	13.137	6.43	6.43
Total =		34.1784	1.179	99.995	99.87	99.87
					**	**

\*\* En una mezcla gaseosa, el % en volumen es igual al % molar.

$$- \text{Peso Molecular aparente de la mezcla gaseosa} = \frac{34.1784}{1.179} = 28.98 \frac{\text{lb}}{\text{lb mol}}$$

\* Estos valores fueron determinados experimentalmente mediante un indicador de CO<sub>2</sub>; aparato que trabaja mediante la absorción de CO<sub>2</sub> en soluciones alcalinas de KOH y NaOH. Los demás valores fueron deducidos a partir de estos con ayuda de análisis tipo y de datos reportados en la literatura.

Aire necesario para la combustión de 1 lb. de combustóleo:

$$C + O_2 = CO_2 \quad ; \quad 0.8252 \times \frac{32}{12} = 2.2005$$

$$S + O_2 = SO_2 \quad ; \quad 0.0309 \times \frac{32}{32} = 0.0309$$

$$N + O_2 = NO_2 \quad ; \quad 0.0301 \times \frac{32}{14} = 0.0687$$

$$2H + 1/2 O_2 = H_2O \quad ; \quad 0.1134 \times \frac{16}{2} = \frac{0.9072}{3.2073} \text{ libras de } O_2 \text{ necesarias -}$$

si no se opera con un ex-  
ceso de aire.

Del análisis de los gases de salida, obtenemos que la caldera está trabajando con un 140% de exceso de aire. (el exceso de aire relacionado con un porcentaje de  $CO_2$  del 6.25% en volumen, corresponde a - 140%). Ver tabla y figura (IV, 1). Así, el valor obtenido de 3.2073 es necesario sumarlo a esta misma cantidad pero corregida con el exceso de aire:  $(3.2073)(1.40) = 4.4902 + 3.2073 = 7.6975$  lb de  $O_2$ /lb de combustible.

Por otra parte, si el porcentaje de oxígeno en el aire es de 21 en volumen, esta cantidad corresponderá a 23.2% en peso; es un dato - necesario para obtener la cantidad de aire con la que estamos trabajan-

do:  $\frac{3.2073}{0.232} = 13.8245 \frac{\text{lb de aire}}{\text{lb de combustible}}$ , es el aire requerido si no se

trabaja con exceso. Por lo tanto, el aire total (requerido + exceso) se

rá:  $\frac{7.6975}{0.232} = 33.1788 \frac{\text{lb de aire}}{\text{lb de combustible}}$ .

Con los datos obtenidos anteriormente, se procede a efectuar el balance de calor en el hogar y en la sección de radiación de la calde

ra ( $VR + VH$ ), para determinar la eficiencia de la caldera;

1.- Balance de Calor:

$$Q = Q_F + Q_A + Q_R - Q_W = Q_{\text{neto}} - Q_G$$

Donde:

$Q$  = Calor disponible en toda la sección de radiación,  $\frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$

$Q_F$  = Calor liberado por el combustible,  $\frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$

$Q_A$  = Calor sensible que entra en el aire de combustión, por arriba de  $60^\circ\text{F}$ .  $\frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$

$Q_R$  = Calor sensible que se utiliza debido a la recirculación de los gases,  $\frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$ . En este caso no se toma en cuenta debido a que no hay recirculación.

$Q_W$  = Calor perdido a través de las paredes del hogar,  $\frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$

$Q_G$  = Calor que sale de la sección de radiación en los gases de combustión,  $\frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$

De acuerdo a las características del combustible y de la caldera, tenemos los valores siguientes:

$$Q_F = 19,100 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times 24.2 \frac{\text{lb}}{\text{hr.}} = 462220 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$$

$$Q_A = 24.2 \frac{\text{lb comb.}}{\text{Hr.}} \times 33.1788 \frac{\text{lb aire}}{\text{lb combustible}} = 802.92 \frac{\text{lb aire}}{\text{Hr.}}$$

$$\text{cp. aire} \begin{cases} 750^\circ\text{F} \\ 60^\circ\text{F} \end{cases} = 0.265 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} ; \quad \Delta T = 750 - 60 = 690^\circ\text{F}$$

$$Q_A = 802.92 \frac{\text{lb aire}}{\text{hr}} \times 0.265 \frac{\text{BTU}}{\text{lb aire } ^\circ\text{F}} \times 690^\circ\text{F} = 146,813 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$$

$$Q_R = 0$$

$$Q_W = 2\% \text{ de } Q_F$$

$$= 0.02 (462,220) = 9244 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$$

Con estos valores, la ecuación de balance de calor nos queda:

$$Q_{\text{neto}} = 462,220 + 146,813 + 0 - 9,244 = 599,789 \frac{\text{BTU}}{\text{hr.}}$$

$$Q_G = W (1 + G') C_{p_{\text{av.}}} (T_G - 520)$$

$$W = \text{Cantidad de combustible} = 24,2 \frac{\text{lb}}{\text{Hr.}}$$

$$G' = \text{Relación aire-combustible} = 33,1788 \frac{\text{lb aire}}{\text{lb comb.}}$$

$C_{p_{\text{av.}}}$  = Calor específico promedio de los gases de salida entre

$$1760 \text{ } ^\circ\text{R y } 520 \text{ } ^\circ\text{R.} = 0,275 \frac{\text{BTU}}{\text{lb } ^\circ\text{R}}$$

$T_G = 1760 \text{ } ^\circ\text{R}$ , es la temperatura en el límite superior de la zona de radiación. (VR).

$$\begin{aligned} Q_G &= 24,2 \frac{\text{lb comb.}}{\text{hr.}} \times (1 + 33,1788) \frac{\text{lb aire}}{\text{lb comb.}} \times 0,270 \frac{\text{BTU}}{\text{lb aire } ^\circ\text{R}} \times 1240 \text{ } ^\circ\text{R} \\ &= 276,922 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}} \end{aligned}$$

$$Q = Q_{\text{neto}} - Q_G = 599,789 - 276,922 = \underline{\underline{322,867}} \frac{\text{BTU}}{\text{Hr.}}$$

2.- Cálculo de la eficiencia de la caldera: e;

$$e = \frac{\sum Q}{Q_F} \times 100 = \frac{322,867 \text{ BTU/hr}}{462,220 \text{ BTU/hr}} \times 100 = \underline{\underline{69,85}} \%$$

Donde:

e = eficiencia

$\sum Q$  = suma del calor total disponible = 322,867 BTU/hr.

$Q_F$  = calor liberado por el combustible = 462,220 BTU/hr.

La eficiencia obtenida en la caldera (69.85 %), nos indica -- que estamos trabajando con una pérdida de calor de un 30% con relación -- a el combustible que estamos utilizando. Este porcentaje cae dentro de -- los límites recomendables para este sistema de calentamiento, y que -- fluctúan entre 10 y 40 %. Un aumento en la eficiencia obtenida, implica -- ría el mejoramiento de todo el sistema para optimizar la combustión; es -- te mejoramiento se relaciona básicamente con una reducción en la canti -- dad de aire en exceso con el que se trabaja actualmente.

Este aire en exceso, al disminuir absorbe menor cantidad de -- calor y nos aumenta el porcentaje de  $CO_2$  en los gases de combustión, lo -- que significa un mayor aprovechamiento del combustible y una mejor com -- bustión. ( La eficiencia en estos sistemas está relacionada directamen -- te con el aumento de  $CO_2$  en los gases de combustión).

Otro aspecto importante en la optimización lo constituye el -- aislamiento de la caldera y de la chimenea; el aislamiento de la caldera -- no es recomendable en este caso, debido a que se encuentra en una área -- donde la velocidad del viento es prácticamente despreciable, y también -- porque su operación es intermitente, es decir, la cantidad de agua que -- se calienta es desalojada completamente al terminar su calentamiento. El -- aislamiento de la chimenea tampoco es conveniente debido a que está sus -- tentada directamente sobre la caldera o boiler, y el peso del aislante -- aumentaría considerablemente el peso de la misma.

## SISTEMA PURIFICADOR

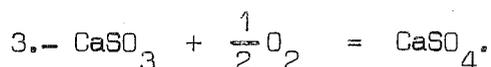
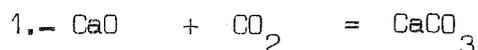
Para una adecuada selección del sistema de prevención, es necesario considerar todos los factores mencionados anteriormente, y considerando el principio que establece que la prevención implica tratar todas las cosas en sus orígenes, el proyecto que a continuación se describirá está basado en que el combustible no sea tratado previamente para la eliminación de azufre principalmente, y también que el sistema no produzca una óptima combustión. Esto creo que es necesario mencionarlo, puesto que para este tipo de industria, que utiliza una pequeña cantidad de combustible y que opera en forma intermitente, un sistema muy complejo de prevención no sería aconsejable debido a su elevado costo.

El objetivo principal de los sistemas de prevención utilizados en las fuentes estacionarias de contaminación, es el tratamiento del azufre antes de la combustión y la eliminación del dióxido de azufre después de la combustión. Para el tratamiento del azufre se utiliza básicamente la desulfurización del combustible, que se lleva a cabo en las plantas desulfuradoras de Petróleos Mexicanos, y que en su concepción más sencilla implica el uso de reactivos que reaccionan con los compuestos de azufre, favoreciendo su precipitación y su eliminación por decantación. Este proceso se determina comúnmente con el nombre de "endulzamiento", y utiliza entre otras, sales de cobre.

Para la eliminación del dióxido de azufre, existen numerosos procedimientos entre los que destacan los tratamientos alcalinos, que se llevan a cabo en torres de absorción y de adsorción principalmente.

Dentro de este tipo de tratamientos alcalinos, existe uno -

que consiste en la utilización de carbonato de calcio seco\*, el cual reacciona de la siguiente manera cuando se pone en contacto con los gases de combustión:



Estas reacciones son simultáneas y se llevan a cabo a temperaturas altas (750-1000 °C).

El óxido de calcio (CaO), es un ingrediente que se encuentra en todos los molinos de nixtamal, ya que es esencial para el cocimiento del maíz. Debido a esta razón y a que su precio es relativamente barato, considero que su utilización en el tratamiento del SO<sub>2</sub> es conveniente.

Del análisis de los gases de combustión, página (73), obtenemos los siguientes datos;

	<u>Compuesto</u>	<u>Cantidad</u> (lb / mol)
(cantidades obtenidas de quemar 1 lb. de combustóleo con 140 % de aire en exceso).	CO <sub>2</sub>	0.068
	SO <sub>2</sub>	0.001
	O <sub>2</sub>	0.140

y para el análisis estequiométrico de la reacción, suponemos que todo el CO<sub>2</sub> que interviene en la reacción se libera totalmente después de formar

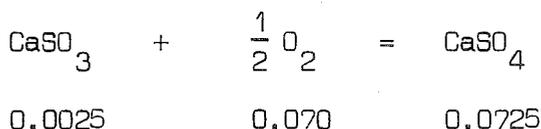
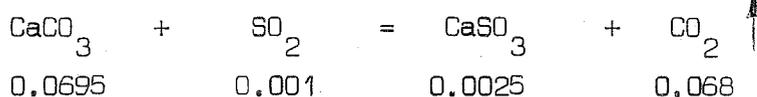
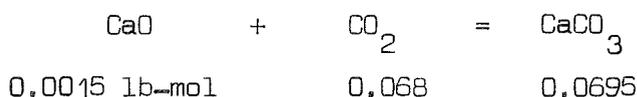
\* M. HARTMAN; Prospects of using dry calcium carbonate for sulfur removal from combustion gases; Revista International Chemical-Engineering, vol 16, no.1 Enero 1976. Checoslovaquia.

el  $\text{CaCO}_3$ .

Si tomamos como base para el balance de la reacción, 0.085 lb. de CaO, como reactivo principal, y con una conversión del 100%, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\text{CaO} = \frac{0.085 \text{ lb}}{56 \text{ (PM)}} = 0.0015 \text{ lb-mol.}$$

0.085 se obtuvo de la cantidad necesaria (1b CaO/lb Combustible), para adsorber el  $\text{SO}_2$ , según la gráfica (IV, 7.)



Si esta reacción se lleva a cabo en un 100% de conversión, se necesitarían 0.085 lb de CaO para recuperar todo el  $\text{SO}_2$  presente y obtener al final 9.8 lb. de  $\text{CaSO}_4$ . (Mediante una titulación del  $\text{CaSO}_4$  con una solución 0.005 N de  $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$ , utilizando azul de metileno como indicador, se obtiene el contenido de sulfatos; una segunda titulación con  $\text{H}_2\text{O}_2$  diluida nos indica el contenido de  $\text{SO}_2$ ).

Esta cantidad de sulfatos y de óxido de calcio son fundamentales para la conversión de CaO en  $\text{CaSO}_4$ .

Hartman realizó estos experimentos y obtuvo los siguientes resultados para 10 tipos diferentes de CaO (según su origen). Para fines del presente trabajo se hizo un promedio estadístico que creo que es representativo:

Fig. (IV, 2) : Composición Química del CaO:

<u>componentes</u>	<u>% peso</u>
CaO	50.90
MgO	2.47
SiO <sub>2</sub>	2.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.315
pérdidas por ignición	<u>42.82</u>
TOTAL =	<u>99.185</u>

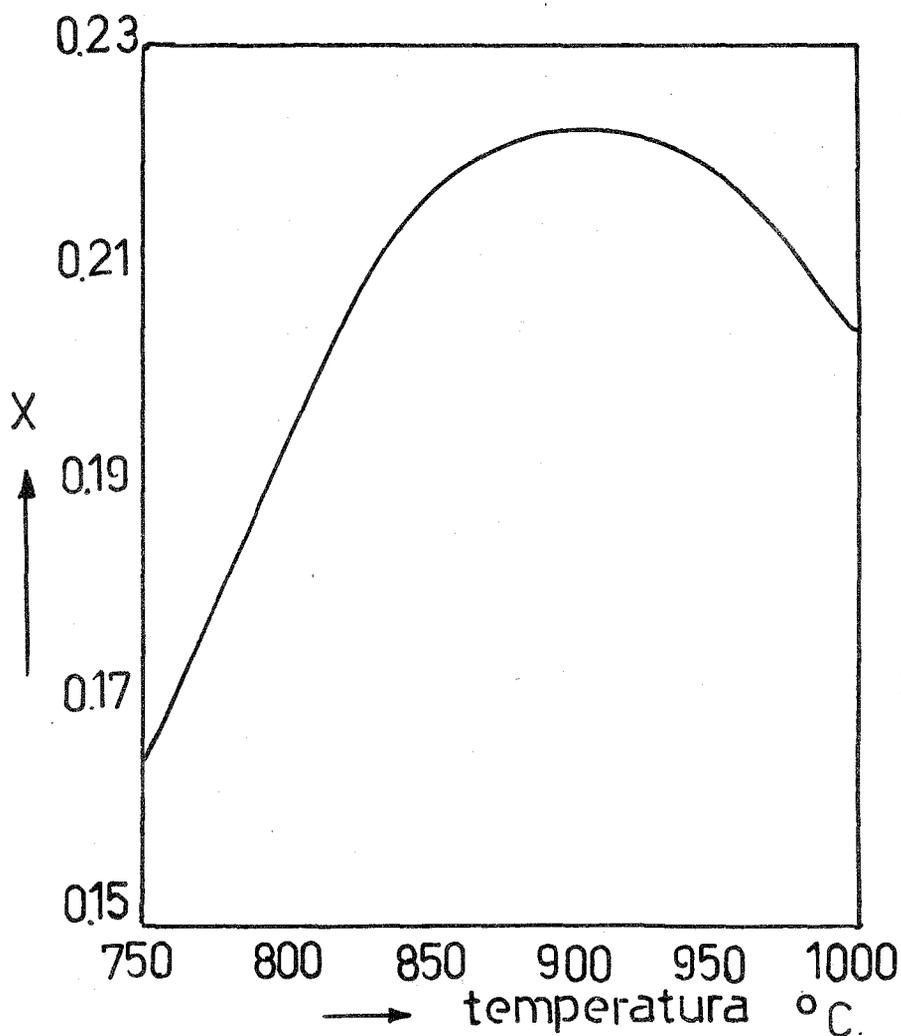


Fig (IV, 3).

conversión de CaO como función de la temperatura.

concentración de SO<sub>2</sub> = 0.30 % (vol).

diámetro de partícula 0.06 mm.

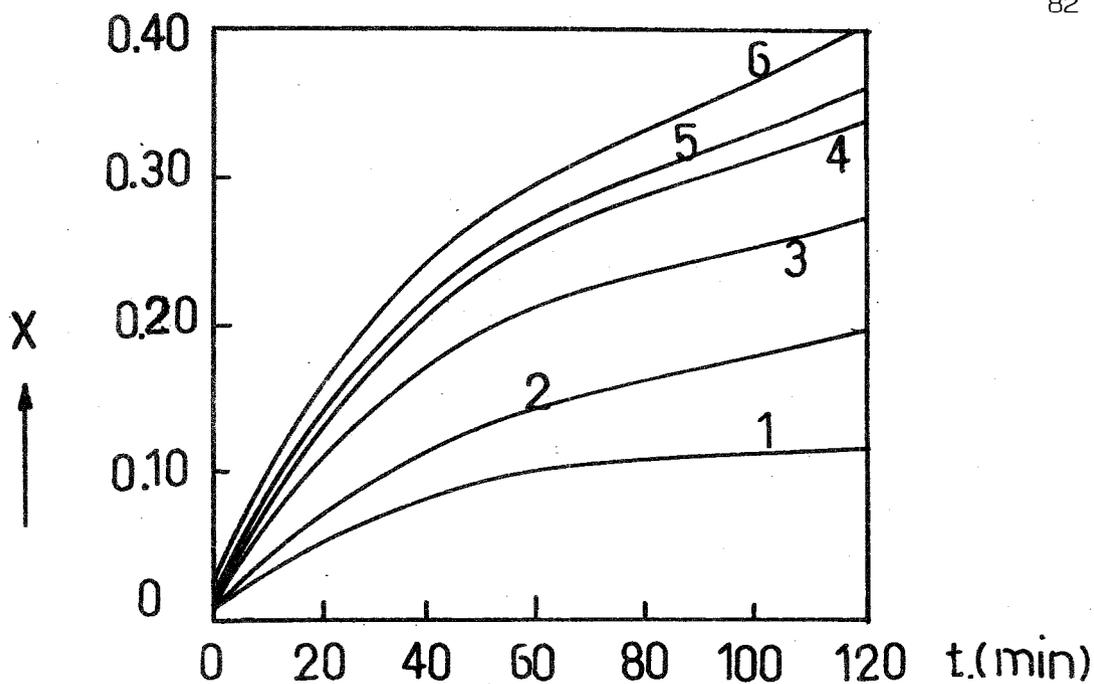


Fig. (IV, 4) Conversi3n de  $\text{CaO}$  como una funci3n del tiempo de exposici3n y de la concentraci3n de  $\text{SO}_2$ .  
 $\bar{d}_p = 0.6 \text{ mm.}$   $T = 850 \text{ }^\circ\text{C.}$

concentraciones de  $\text{SO}_2$ :

1-	0.048	%	vol.
2-	0.132	/	/
3-	0.221	/	/
4-	0.300	/	/
5-	0.545	/	/
6-	0.695	/	/

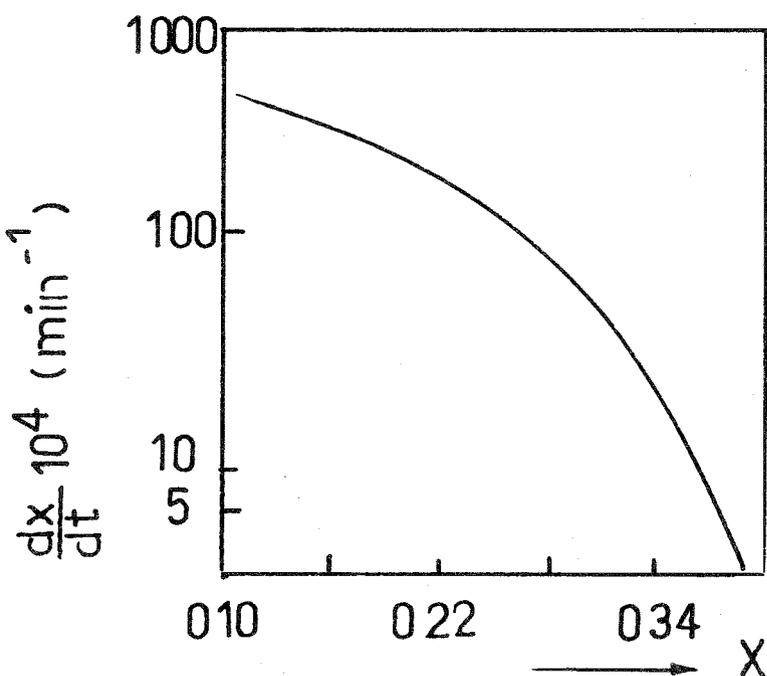
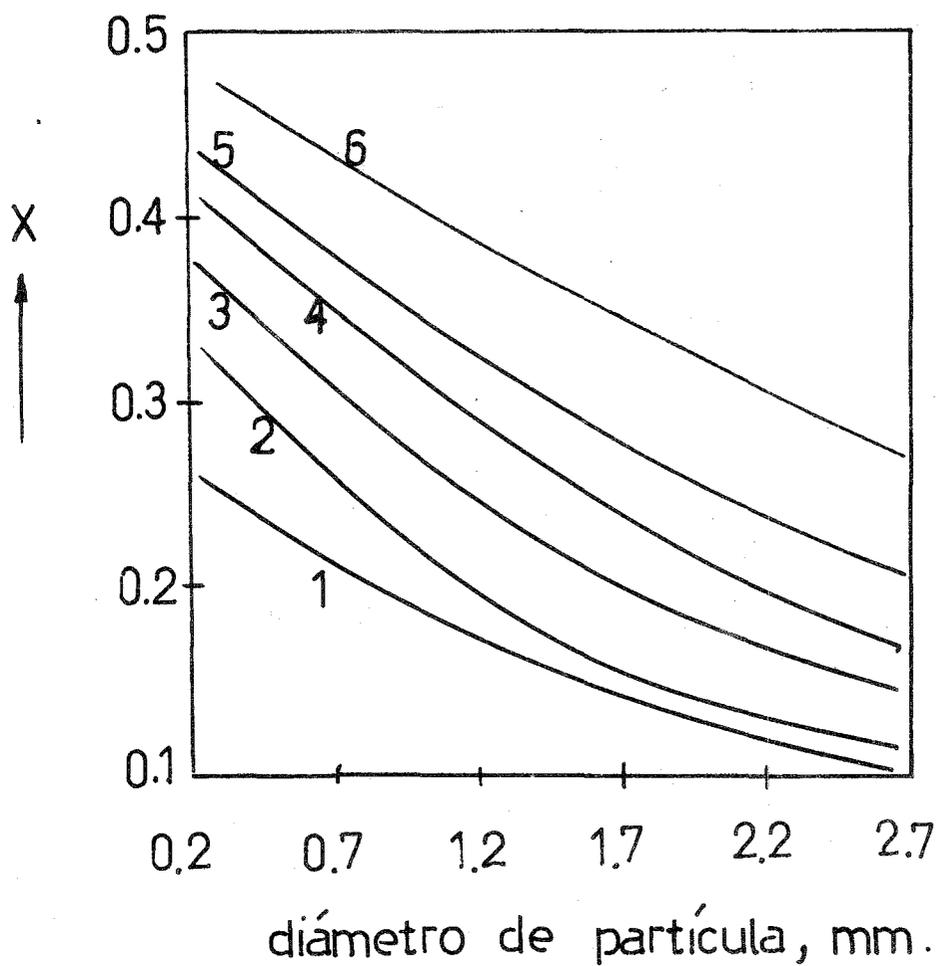


Fig. (IV, 5)

Velocidad de reacci3n como una funci3n de la conversi3n.

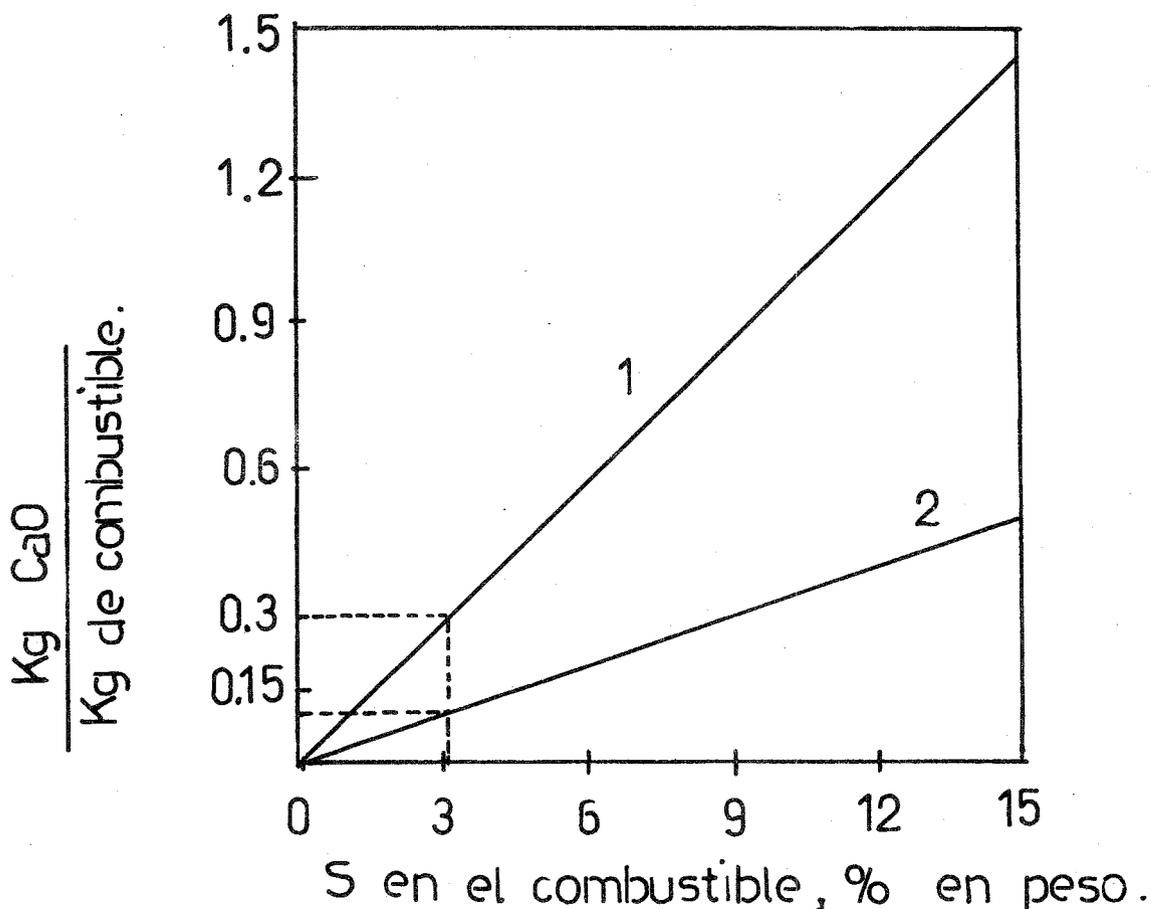
Fig (IV, 6) Conversión de CaO  
como una función del  
tamaño de partícula.



Concentraciones de  $\text{SO}_2$ , en volumen =

1.-	0.048
2.-	0.132
3.-	0.221
4.-	0.300
5.-	0.545
6.-	0.695

Fig. (IV, 7) Consumo específico de CaO como una función del contenido de azufre en el combustible.



(1) Este parámetro se trazó bajo el sig. dato experimental:

<u>conversión</u>	<u>consumo específico de CaO</u>
$\left( \frac{\text{moles } SO_3}{\text{moles CaO}} \right)$	$\left( \frac{\text{grs CaO}}{\text{grs } SO_2} \right)$
0.378	4.85

(2) Consumo estequiométrico: 100% de CaO.

Por otra parte, nuestro sistema utiliza  $12 \frac{\text{litros combustible}}{\text{hora}} =$

24.2 lb/hora de combustible, con un contenido de azufre, de 3.09% en peso.

Con la ayuda de la gráfica (IV,7), se observa que se necesitan  $0.29 \frac{\text{kgs. de CaO}}{\text{kg. combustible}} \times 11 \frac{\text{kg. comb.}}{\text{hora}} = 3.19 \frac{\text{kgs. CaO}}{\text{hora}}$

$$3.19 \frac{\text{kgs. CaO}}{\text{hora}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} = 7.018 \frac{\text{lb CaO}}{\text{hora.}}$$

Si la reacción se llevara a cabo al 100%; se necesitarían

$$0.085 \frac{\text{kgs CaO}}{\text{kg de comb.}} \times 11 \frac{\text{kg comb.}}{\text{hora}} = 0.935 \frac{\text{kgs CaO}}{\text{hora}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} = 2.057 \frac{\text{lb CaO}}{\text{hora.}}$$

Por lo tanto,  $2.057 \frac{\text{lb CaO}}{\text{hr.}}$  se necesitarían si la conversión del CaO fuera 100%.

$$\frac{2.057}{0.30} = 7.018 \frac{\text{lb}}{\text{hr.}} \text{ CaO es la cantidad que se necesitaría debido a que la máxima conversión del CaO es del 30\%.}$$

Lo anterior nos indica que es necesario utilizar 7.018 lb de CaO por cada 24.2 lb. de combustible utilizado, para poder eliminar el 30% del  $\text{SO}_2$  presente en los gases de combustión. Si se quisiera eliminar el 75% del  $\text{SO}_2$  presente en dichos gases, teóricamente, y dependiendo de la forma de hacerlo, se necesitarían:

$$7.018 - 30 \%$$

$$X - 75 \%, \text{ por lo tanto, } X = 17.54 \text{ lb CaO}$$

---


$$24.2 \text{ lb de combustible.}$$


---

EQUIPO NECESARIO

Existen 2 formas de poner en contacto los gases de combustión y el óxido de calcio, y son las siguientes:

- a) Mediante placas rellenas de CaO que se colocan en la Chimenea. Estas placas deberán tener unas mallas o tamices de un número inferior al diámetro de partícula de CaO. Esta forma se ilustra en la figura (IV,7.1).

Cálculo del tiro de la chimenea;  $\Delta P$  teórico:

$$\Delta P_t = 0.256 LP \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Donde;

L = altura de la chimenea, 21.3 ft.

P = presión barométrica, 585 mm Hg. = 22.74 in. Hg.

T = temperatura ambiente, 519 °R.

T<sub>1</sub> = temperatura de la chimenea (promedio), 859 °R.

$$\begin{aligned} \Delta P_t &= 0.256 \left[ 21.3 \times 22.74 \left( \frac{1}{519} - \frac{1}{859} \right) \right] \\ &= 0.094 \text{ in. H}_2\text{O.} \end{aligned}$$

$\Delta P$  Real:

$$AP_f = \frac{u^2}{2g} \left( \frac{1 + f L}{D} \right) \left( \frac{\rho_g}{5.2} \right)$$

Donde:

$AP_f$  = pérdidas de presión debido al tiro de la chimenea, in. H<sub>2</sub>O

u = velocidad de salida de los gases en la chimenea, ft/seg.

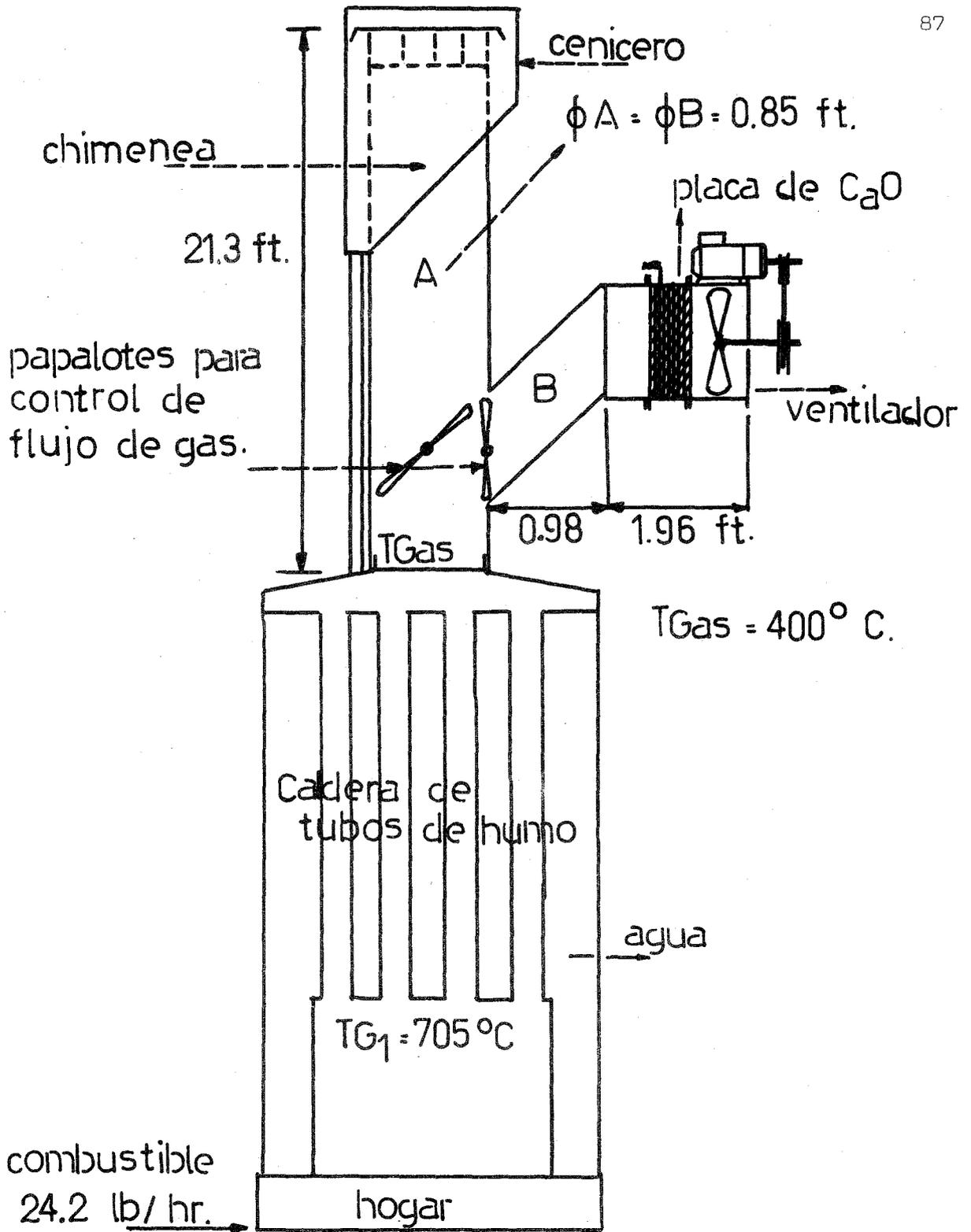
g = aceleración de la gravedad, 32.17 ft/seg<sup>2</sup>.

f = factor de fricción, (gráficas)

L = altura de la chimenea, ft.

$\rho_g$  = densidad promedio de los gases en la chimenea, lb/ft<sup>3</sup>.

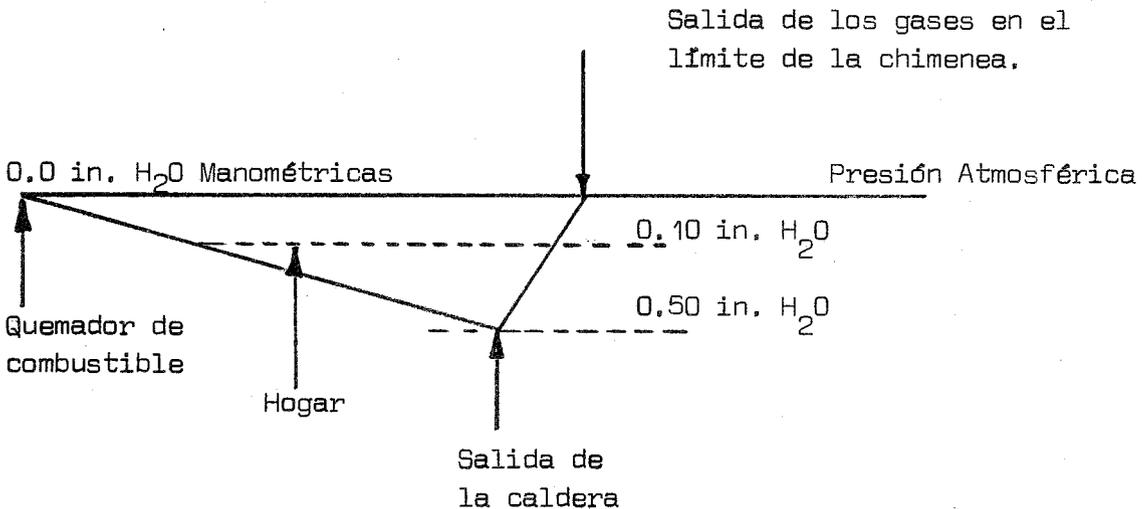
Esta ecuación no se puede utilizar, porque el diámetro y la altura de la chimenea son muy pequeños y no se encuentran en las tablas para poder obtener el factor de fricción.



Fig(IV, 7.1) REPRESENTACION DEL SISTEMA (a).

El valor obtenido de la presión en la chimenea nos indica que es necesario instalar un ventilador para poder desalojar los gases, puesto que al instalar la placa estamos evitando que los gases salgan al exterior.

Representación de la Presión en todo el Sistema:



Caída de presión causada por el lecho de CaO:

Se puede calcular mediante la ecuación de Leva, que se aplica para fluidos compresibles que circulan o pasan una sola vez por el lecho:

$$P_1^2 - P_2^2 = \frac{2 Z R G^2 T}{g_c M} \left[ \ln \frac{V_2}{V_1} + \frac{2 f_m L (1 - \epsilon)^{3-n}}{\phi_s^{3-n} \epsilon^3 D_p} \right]$$

Donde:

$$P_1^2 - P_2^2 = \Delta P^2 = \text{pérdida de presión del gas al pasar por el lecho,}$$

$$\frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

Z = factor de compresibilidad de los gases ideales, 0.27

$R =$  constante de los gases ideales,  $2,780 \frac{\text{ft lb}}{\text{lb-mol}^\circ\text{K}}$

$G =$  Masa - Velocidad del gas,  $3.30 \frac{\text{lb}}{\text{seg ft}^2}$

$T =$  temperatura del gas,  $673^\circ\text{K}$

$g_c =$  constante de la aceleración de la gravedad,  $32.17 \frac{\text{lb ft}}{\text{lb seg}^2}$

$M =$  peso molecular del gas =  $232 \frac{\text{lb}}{\text{lb-mol}}$

$V_2 \approx V_1 =$  volumen específico del gas a la entrada y a la salida del lecho,  
 $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{0.645} = \frac{1}{\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 1.55 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}$

$f_m =$  factor de fricción, es una función del número de Reynolds.

$$\text{No. Re} = \frac{D_p G}{\mu} = \frac{(0.0065 \text{ ft})(3.3 \frac{\text{lb}}{\text{seg ft}^2})}{0.0000205 \frac{\text{lb}}{\text{ft seg}}} = 1,067.16$$

si  $\text{No. Re.} = 1,067.16$ ;  $f_m = 1.5$

$L =$  altura del lecho,  $0.25 \text{ ft.}$

$\epsilon =$  factor que relaciona el volumen de espacios vacíos entre el volumen empacado,  $= 0.85$

$n =$  exponente que se relaciona con el No. de Reynolds,  $\approx 2.0$

$\phi_s =$  factor de forma para partículas no esféricas,  $0.75$

$D_p =$  diámetro de partícula,  $0.0065 \text{ ft.}$

Sustituyendo los valores anteriores, la ecuación nos ofrece el siguiente resultado:

$$P_1^2 - P_2^2 = \frac{(2)(0.27)(3.3)^2(673)}{(32.17)(232)} \left[ \ln \frac{1.55}{1.55} + \frac{(2)(1.5)(0.25)(1-0.85)^{3-2}}{(0.75)^{3-2}(0.85)^3(0.0065)} \right]$$

$$= \frac{11,002,249}{7,463.4} \left| \frac{0.1125}{0.0023} \right| = \Delta P^2 = 72,101.18$$

$$\Delta P = \sqrt{72,101.18}$$

$$= 268.5 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2}$$

$$= 1.86 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

Cálculo del ventilador necesario para sacar los gases de la chimenea, su-  
perando la pérdida de presión de  $1.86 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$  causada por el lecho de CaO:

$$\text{h. p. de aire} = \frac{144 Q (1.86)}{33,000}$$

Q = gasto en volumen de aire manejado; los valores se obtuvieron de --  
 la página ( 73 ).

$$Q = 1.179 \frac{\text{lb mol}}{\text{lb combustible}} \times 24.2 \frac{\text{lb comb}}{\text{hr.}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min.}} \times 359 = 170.7 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

utilizado

$$\text{h. p. de aire} = \frac{144 (170.7) (1.86)}{33,000} = 1.385$$

$$\text{h. p. de la transmisión producida por el motor} = \frac{\text{h. p. aire}}{\text{eficiencia del ventilador}}$$

$$= \frac{1.385}{0.60} = \underline{\underline{2.30}}$$

Esto nos indica que necesitamos un motor de 3.0 caballos de fuerza. Con esta cantidad podemos obtener el consumo de energía eléctrica consumida, de la siguiente manera:

$$3.0 \text{ h.p.} \times \frac{2544.40 \text{ BTU/hr}}{1 \text{ h.p.}} \times \frac{1 \text{ Kw-hr}}{3,412.20 \text{ BTU/hr}} = \underline{\underline{2.23 \text{ Kw-hr.}}}$$

Cálculo del volumen de placa necesario:

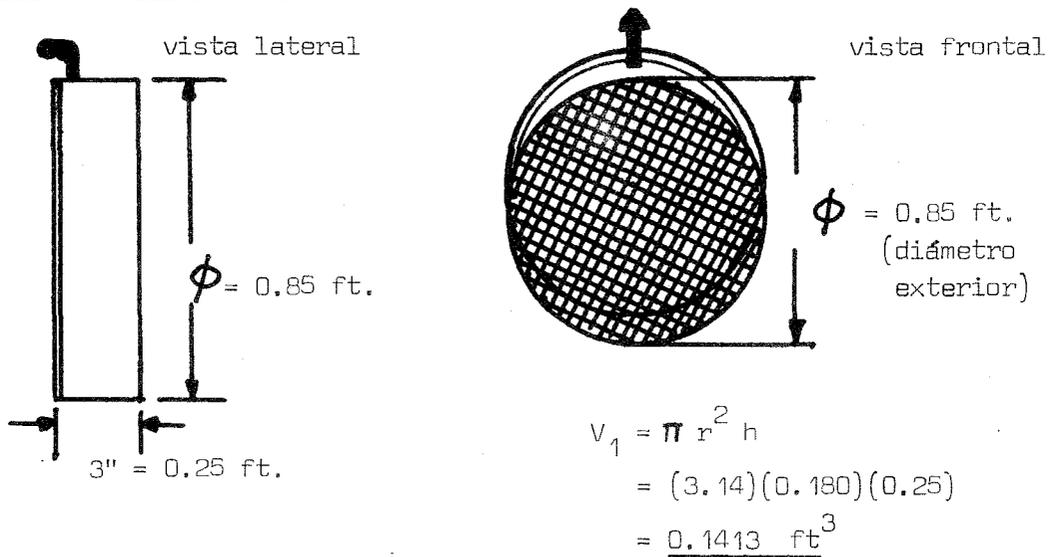
$$\rho_{\text{CaO a } 25^{\circ}\text{C}} \approx \rho_{\text{CaCO}_3 \text{ a } 25^{\circ}\text{C}} = 162 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\text{Masa de CaO necesaria: } \frac{17.54 \text{ lb}}{24.2 \text{ lb comb./hora}}$$

$$\text{puesto que } \rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}; \text{ volumen} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{17.54 \text{ lb}}{162 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = \underline{\underline{0.1082 \text{ ft}^3}}$$

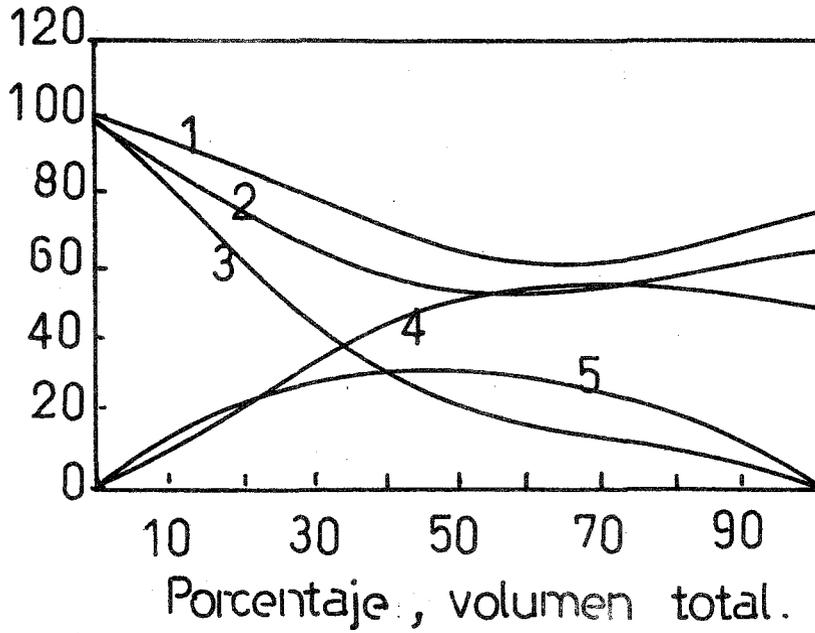
$V = 0.1082 =$  volumen en pies cúbicos de CaO. Esto quiere decir que se requiere un volumen de  $0.1082 \text{ ft}^3$  para empacar 17.54 lb de CaO.

Dimensiones de la placa:



Puesto que  $V_1 \geq V$ , ( $0.1413 \text{ ft}^3 > 0.1082 \text{ ft}^3$ ), se está considerando el volumen de placa con un 25% de amplitud mayor.

Porcentaje de presión, potencia  
y eficiencia.



- (1) potencia.
- (2) presión total.
- (3) " estática.
- (4) eficiencia total.
- (5) " estática.

Fig.( IV, 8 )

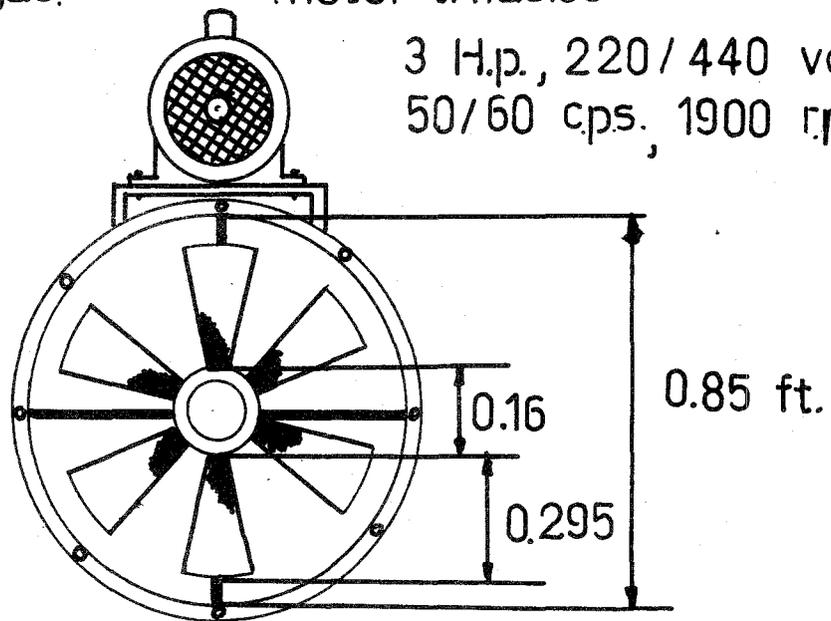
Curvas típicas de operación de un ventilador axial.

frente:

entrada del gas.

motor trifásico

3 H.p., 220 / 440 volts.  
50/60 cps., 1900 r.p.m.



posterior:

salida del  
gas.

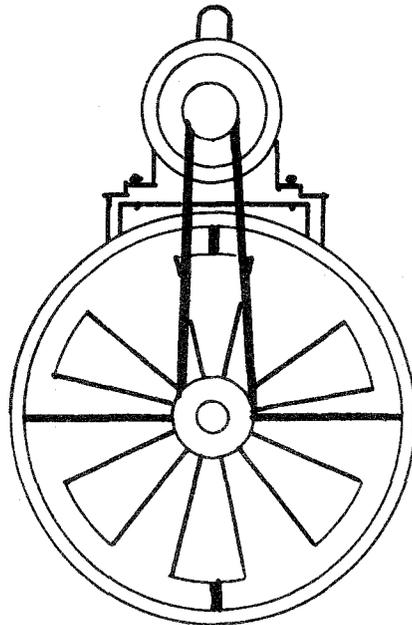


Fig (IV, 9)

VENTILADOR UTILIZADO.

DESVENTAJAS:

- 1.- aumenta el costo fijo de la chimenea, debido al precio del motor, al precio del ventilador y a la mano de obra utilizada en su fabricación y montaje.
- 2.- aumentan los costos variables, debido a la energía eléctrica que consume y a la cantidad de óxido de calcio necesaria.
- 3.- la eficiencia del ventilador es a lo sumo de 65%. Fig. (IV,8).
- 4.- la eficiencia de adsorción del CaO es baja debido a la temperatura de salida del gas. (1400°F en el hogar contra 750°F en la chimenea).
- 5.- es necesario cambiar la placa de CaO para cada calentamiento de agua.

VENTAJAS:

- 1.- se evitaría la emisión de partículas de carbón en el caso que existiera mala combustión; se captarían en la placa de CaO.
- 2.- la posible utilización del  $\text{CaSO}_4$  ( subproducto ), como base fundamental en la preparación de yeso, utilizado para el recubrimiento de muros y paredes.

- b) esta segunda forma o sistema, se refiere a la colocación de la cantidad de óxido de calcio necesario en la cámara de combustión, para de esta forma, obtener la combustión y la recuperación del  $\text{SO}_2$  en un mismo paso. Este sistema se representa en la figura (IV, 10).

La cantidad de  $\text{CaO}$  utilizada en este sistema no afecta el balance de calor, puesto que la reacción del  $\text{CaO}$  con el  $\text{CO}_2$  libera 21,000 calorías, o sea, 83.3 BTU.

Las partículas que pudieran liberarse durante la combustión y la fijación del  $\text{SO}_2$ , se recuperarían en el cenicero de la chimenea, que puede ser del tipo venturi. Esta forma de purificación es recomendable debido a su sencillez, ya que no requiere ninguna modificación al sistema original. Así mismo, al ser la temperatura del hogar de  $705\text{ }^\circ\text{C}$  ( $1400\text{ }^\circ\text{F}$ ), favorece la conversión de  $\text{CaO}$ , a diferencia de la forma o sistema ( b ), cuya operación sería a  $400\text{ }^\circ\text{C}$  ( $750\text{ }^\circ\text{F}$ ).

La desventaja que se tiene es el volumen de  $\text{CaSO}_4$  formado, el cual requiere ser removido cada hora, es decir, cada ciclo de operación de la caldera, y que corresponde al tiempo de saturación del  $\text{CaO}$ . Esta cantidad de  $\text{CaSO}_4$  se podría utilizar en la elaboración de yeso, o bien, últimamente se ha estado utilizando en algunos países con climas áridos como relleno de tierras de cultivo, debido a que este producto ( $\text{CaSO}_4$ ), tiene una gran facilidad para retener agua.

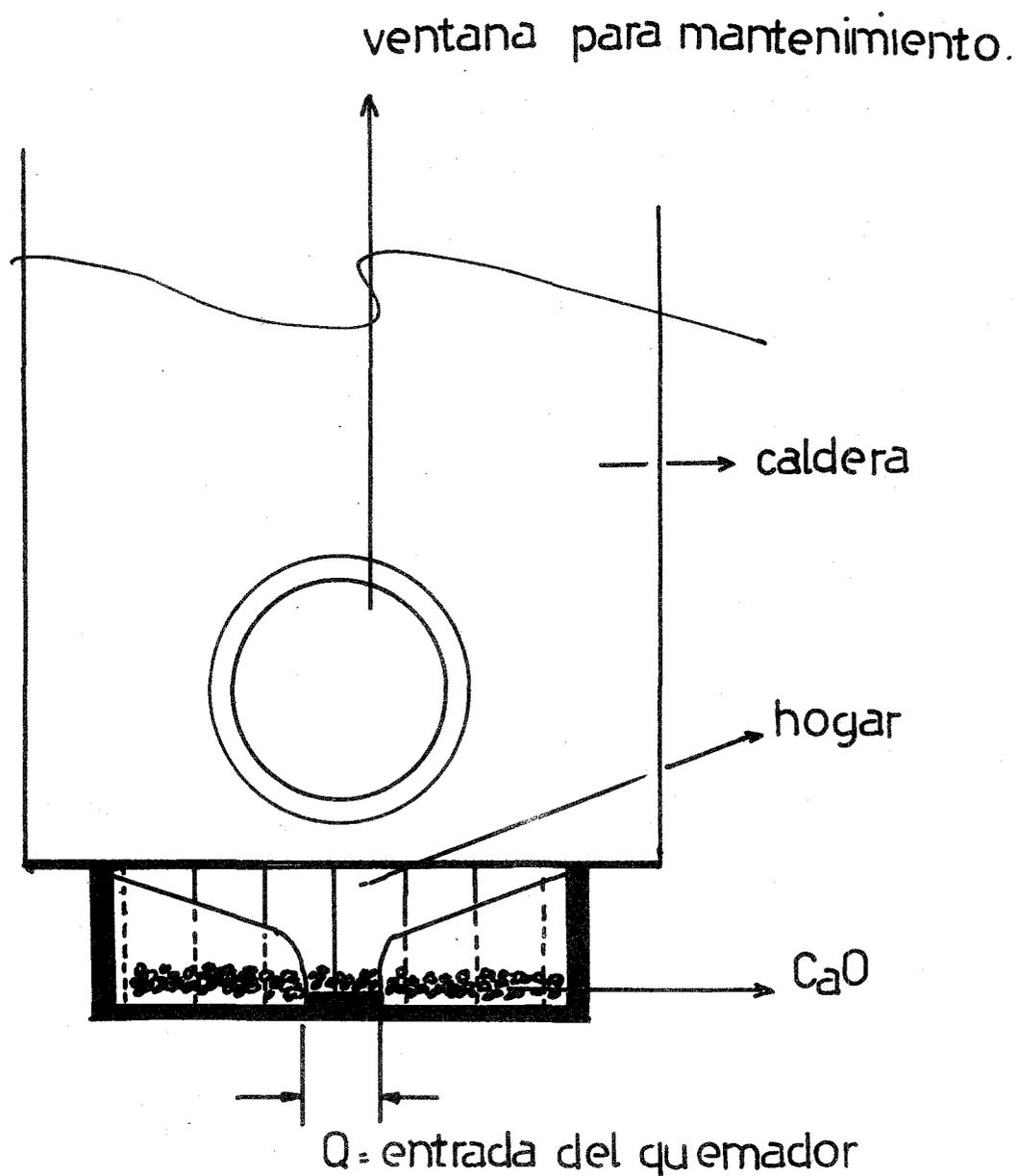


Fig (IV, 10)

COMBUSTION EN UN LECHO  
DE OXIDO DE CALCIO.  
SISTEMA (b).

CAPITULO V

ASPECTO ECONOMICO DEL  
SISTEMA PURIFICADOR

ASPECTO ECONOMICO DEL SISTEMA PURIFICADOR.-

El tipo de industria donde se instalarán los sistemas anti--contaminantes, así como su inversión fija en maquinaria y equipo, nos indicarán que tipo de equipos o aparatos deberán ser instalados para su --utilización en la prevención y control de la contaminación atmosférica.-- Así, generalmente se acepta que el costo de un sistema anticontaminante--no deberá exceder al 7% de la inversión fija en maquinaria y equipo, para una industria existente, y de 4% para industria nueva.

- a) Para el primer sistema propuesto, que incluye una derivación de la chimenea y un ventilador de 2 H.P., se tiene --la siguiente relación de costos:

Costos Fijos

. Un ventilador de tipo axial de propela, con un motor de 3 H.P. ....	\$ 9,500.00
. Una lámina galvanizada con espesor del número 16 y de 0.90 x 1.10 metros .....	200.00
. Placa para rellenar con óxido de calcio, del espesor de la lámina anterior .....	250.00
. Servicios de instalación (mano de obra) .....	<u>600.00</u>
Total	<u>\$ 10,550.00</u>

### Costos Variables

. Electricidad:

$$2.23 \text{ Kw-hr.} \times 4 \frac{\text{hr.}}{\text{día}} \times 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times \frac{\$ 0.20}{\text{Kw-hr.}} = \dots \frac{\$ 53.52}{\text{mes}}$$

. Oxido de Calcio:

$$\frac{17.54 \text{ lb CaO}}{\text{hr}} \times \frac{4 \text{ hr.}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ Kg.}}{2.2 \text{ lb}} \times \frac{\$0.70}{\text{Kg.}} = \frac{\$ 669.70}{\text{mes}}$$

Total : \\$ 723.22  
mes

Si consideramos una inversión fija de \$ 160,000.00 en maquinaria y equipo, para un molino de nixtamal, de las características anotadas anteriormente, el valor obtenido de \$ 10,550.00 para los costos fijos, representa un 6.5% de dicha inversión, lo que nos indica que sobrepasa el 4 % aceptado para la instalación de equipos anticontaminantes. A todo lo anterior es necesario aumentarle la cantidad que representan los costos variables, con lo que aumenta considerablemente el costo de limpieza de los gases producto de la combustión.

Este sistema se puede utilizar con algunas ventajas en calderas y dispositivos que utilicen combustibles con un alto contenido de azufre, como lo puede ser el combustóleo. Así mismo, está en desventaja con la utilización de combustibles ligeros como el Diesel, el petróleo diáfano o el gas L.p., cuya utilización evitaría el uso de este sistema.

b) Para la segunda forma propuesta de utilización del óxido de calcio, consistente en efectuar la combustión en un lecho fluidizado de CaO, no se requiere ninguna instalación adicional a la ya existente; únicamente se requiere el óxido de calcio para depositarlo en el hogar, lo que representa un incremento de los costos variables únicamente.

Oxido de calcio;

$$\frac{17.54 \text{ lb Cao}}{\text{hr.}} \times \frac{4 \text{ hr}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ Kg.}}{2.2 \text{ lb}} \times \frac{\$0.70}{\text{Kg.}} = \underline{\underline{\$ 669.70}}_{\text{mes}}$$

Este sistema, debido a su sencillez, puede ser utilizado en calderas que utilicen combustóleo con un alto contenido de azufre, o bien, se puede utilizar en calderas que utilicen otro tipo de combustible con un menor contenido de azufre, lo que disminuye considerablemente la cantidad de CaO utilizado.

Por otra parte, es conveniente efectuar un análisis del tipo costo - beneficio, de los dos sistemas de utilización del CaO, para observar el ahorro económico que estos sistemas proporcionan, comparándolo con la utilización de otros combustibles más ligeros que aunque contienen menor cantidad de azufre, su costo es un poco más elevado.

Esto se refiere básicamente al consumo de gas L. p., que prácticamente no contiene azufre, y al combustible Diesel, que al igual que el petróleo diáfano, contienen un contenido de azufre muy pequeño. Este análisis requiere el cálculo de los gastos mensuales, esto es, los valores anotados anteriormente deberán traducirse a costos mensuales, con la ayuda de la depreciación del equipo utilizado.

Para el sistema (a) se tienen los siguientes costos:



2.- Óxido de calcio:

$$17,54 \frac{\text{lb CaO}}{\text{hr}} \times \frac{4 \text{ hr}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \text{ lb}} \times \frac{\$0.70}{\text{kg}} = \$ \frac{669.70}{\text{mes}}$$

3.- combustóleo:

$$\frac{27 \text{ lts comb.}}{\text{ton maiz}} \times \frac{1.769 \text{ ton maiz}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{\$ 0.29}{\text{lt. comb.}} = \$ \frac{415.53}{\text{mes}}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Costos Variables Mensuales} &= 1 + 2 + 3 = && 53.53 \\ &&& 669.70 \\ &&& 415.53 \\ \text{Total: } \$ &&& \underline{1138.75} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Costos Totales: Fijos + Variables} &= \text{I} + \text{II} = && 351.66 \\ &&& 1138.75 \\ \text{Total : } \$ &&& \underline{\underline{1490.41}} \\ &&& \text{mes.} \end{aligned}$$

El consumo de otros combustibles con menor contenido de azufre, evita la utilización del sistema (a), así mismo se evitan también los costos fijos, por lo que únicamente se tendrán los gastos variables relativos al propio consumo de combustibles. Para el caso del gas L.p. se tienen los siguientes costos variables:

$$\frac{40 \text{ lts.}}{\text{ton maiz}} \times 1.769 \frac{\text{ton maiz}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{\$ 1.13}{\text{litro}} = \$ \frac{2398.76}{\text{mes}}$$

Combustible Diesel:

$$\frac{33 \text{ lts}}{\text{ton maiz}} \times \frac{1.769 \text{ ton maiz}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{\$ 0.53}{\text{litro}} = \$ \frac{928.19}{\text{mes}}$$



CUADRO COMPARATIVO ENTRE LA UTILIZACION DE LOS SISTEMAS ( a ) y ( b )  
Y OTROS COMBUSTIBLES. (COSTOS MENSUALES).

	Sistema			combustible	Petróleo
	(a)	(b)	Gas L.p.	Diesel	Diáfano
Costos Fijos	351.66	-	-	-	-
Costos Variables	1138.75	1085.23	2398.76	928.19	490.89
Costos Totales	1490.41	1085.23	2398.76	928.19	490.89

Del análisis del cuadro anterior, se deduce que la aplicación del sistema ( a ) puede sustituir a la utilización de gas L.p., ahorrando así una considerable suma de dinero. Así mismo, este sistema ( a ), no puede sustituir a la utilización de combustible Diesel o petróleo diáfano, cuya operación resulta más económica.

Por otra parte, el sistema ( b ) compite ventajosamente con la utilización de gas L.P. y el combustible Diesel; no así con el petróleo diáfano, cuya utilización resulta más económica, y que por lo tanto, es el combustible que se sugiere para la operación de este tipo de calderas. (tubos de humo).

CAPITULO VI

ASPECTO LEGAL.

## ASPECTO LEGAL

Uno de los aspectos fundamentales que debe cubrir cualquier sistema anticontaminante, es el relativo a los niveles existentes o niveles permitidos de contaminación. Estos niveles están enunciados, para el caso de México, en la ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental, expedida el 23 de Marzo de 1971.

Esta Ley comprende básicamente dos puntos; el primero de ellos se refiere a la contaminación provocada por humos y polvos y que se regula mediante el reglamento para la prevención y control de la contaminación atmosférica originada por la emisión de humos y polvos, del 17 de Septiembre de 1971; el segundo y que se refiere a la contaminación de las aguas, se encuentra detallado en el reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas, del 29 de Marzo de 1973.

En el caso que me ocupa, y que es el de la contaminación atmosférica, el reglamento abarca los siguientes puntos:

1.- Disposiciones Generales; que se refieren a las dependencias oficiales que sancionan este reglamento, a la instalación de industrias nuevas y, a la obtención de Licencias y permisos para el funcionamiento de dichas industrias. Para el otorgamiento de las licencias anteriores, se consideran las industrias, conforme a su contribución a la contaminación, en la jerarquización siguiente:

- a) incineración de basura
- b) refinerías
- c) termoeléctricas
- d) ferrocarriles

e) vehículos automotores. Esto se refiere propiamente a los vehículos de combustión interna, los cuales se consideran como causa primordial de la contaminación atmosférica. - Este punto también se aplica a las industrias que fabri-- can este tipo de vehículos para que acoplen a sus unida-- des los sistemas anticontaminantes apropiados.

f) plantas industrializadoras de guanos y fertilizantes

g) plantas de concreto asfáltico.

2.- Emisión de humos y polvos; se refiere a las disposiciones y sugerencias que se deben de cumplir para obtener una buena combustión. -

En relación con la emisión de humos (aquellas partículas, re-- sultantes de una combustión incompleta, componiéndose en su mayoría de -- carbón, cenizas y otros materiales combustibles que son visibles en la -- atmósfera y las partículas similares, resultantes de la sublimación de -- los metales), únicamente se tiene como norma para su emisión, la carta -- de Ringelmann, que es una medida de referencia basada en la capacidad -- del humo emitido; esta opacidad es un estado en el cual, un material im-- pide parcialmente o en su totalidad el paso de los rayos de la luz, oca-- sionando la falta de visibilidad a un observador. La carta de Ringelmann comprende 5 escalas de densidad de humo, la primera contiene un 20% de -- densidad de humo, la segunda 40%, la tercera 60%, la cuarta 80%, y la -- quinta 100%.

La aplicación de esta carta establece que para las indus-- trias nuevas y las existentes, las emisiones de humo no deberán exceder-- se de la opacidad marcada con el número 2 de dicha carta, excepto en el--

momento de arranque, cuando estas emisiones pueden excederse de la opacidad 2, siempre y cuando no sobrepasen el tiempo límite de tres minutos -- para industria nueva y de cinco minutos para industria existente.

Para el caso de polvos, (partículas pequeñas emitidas a la atmósfera por elementos naturales o por procesos mecánicos, tales como molinos, perforadoras, transporte de tierra, demoliciones y otros), el reglamento establece una emisión máxima permitida en base a el peso del proceso (peso de todos los materiales que se introducen en un proceso específico y que pueden causar emisiones. Los combustibles sólidos se consideran como parte del peso de proceso, pero no así los combustibles líquidos, gaseosos y el aire de combustión). Igualmente existe otra tabla que se basa en el volumen de gas en la fuente emisora. Destacan en este punto los siguientes artículos:

artículo 28; toda operación, proceso o actividad industrial para calentamiento indirecto, en los cuales los productos de combustión no estén en contacto directo con los materiales del proceso, deberá tener los dispositivos necesarios para una correcta combustión, con objeto de reducir la formación y expulsión a la atmósfera, de partículas sólidas como hollín, cenizas y otros contaminantes a los límites señalados por este reglamento.

artículo 29; en toda operación, proceso o actividad industrial en que sean usados combustibles derivados del petróleo para calentamiento indirecto y los productos de combustión no estén en contacto directo con los materiales del proceso, con capacidad igual o mayor de 63 millones de kilocalorías por hora, no se permitirá una emisión mayor de 45 gramos de polvo por cada millón de kilocalorías por hora. Para instalaciones de capacidad menor a los 63 millones de kilocalorías por hora, no se permitirá una emisión mayor de 80 gramos de polvo por cada millón de kilocalo--

rías por hora.

3.- Medidas de Orientación y Educación; se refieren a los programas que las dependencias oficiales elaborarán y darán a conocer relacionadas con el fenómeno de la contaminación y las consecuencias que éste puede traer. Destaca por motivos del presente trabajo, el artículo siguiente: artículo 38: La Secretaría de Educación Pública solicitará a las Universidades del País, que auspicien la investigación científica de la contaminación atmosférica y la forma de combatirla, y que se incluyan dentro de sus programas de estudio, las prácticas y seminarios correspondientes; así como la difusión en tesis, gacetas y revistas, de las recomendaciones técnicas y científicas que contribuyan a la prevención, disminución y control de la contaminación.

4.- Vigilancia e Inspección; de los procedimientos que se llevarán a cabo para el debido cumplimiento del presente reglamento.

5.- Sanciones y procedimientos para aplicar dichas sanciones; después de efectuar el punto número cuatro, se procederá a sancionar a las industrias que así lo ameriten; se incluyen el tipo de sanciones y la forma de ejecutarlas.

6.- Recurso Administrativo de Inconformidad; las personas que hayan sido sancionadas, debido al mal funcionamiento de su industria, y que estén inconformes con esta sanción, podrán, según lo establece el reglamento en este punto, recurrir a la inconformidad de la sanción, en la forma aquí indicada.

7.- Acción Popular; éste es un punto importante debido a la oportunidad que se le dá o que se le ofrece a cualquier ciudadano que habite una zona que esté siendo afectada por algún tipo de emisiones noci-

vas, de manifestar su inconformidad por las emisiones que él considere nocivas. Sobre este punto en particular, en algunos países más avanzados que el nuestro, EE UU, Suecia, cualquier ciudadano puede presentar una queja contra una industria que él considere que esté contaminando, e inclusive esta queja puede llegar a los tribunales, donde se fallará si la queja procede o no, y en el caso de que proceda, se le otorgará al denunciante una cantidad de dinero relacionada con el monto de la sanción que se le imponga al infractor.

Todos los puntos anteriores nos demuestran que no existe ninguna norma que regule la emisión de contaminantes gaseosos, y en especial de aquellos como el bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, etc... Esto representa un problema para todas aquellas personas que se dedican al control de la contaminación, debido a que se enfrentan a una situación en la que no se sabe a que nivel se debe de llegar para disminuir las emisiones, y que por lo general se hace en forma subjetiva, o bien, en relación a normas establecidas en otros países, y cuyos límites serán los que pongan en peligro la salud humana. Estas normas difícilmente se pueden aplicar a la realidad mexicana, debido principalmente a las diferencias climatológicas y de localización, y, en segundo lugar, debido a la diferencia, tanto de costumbres como de comportamiento.

Esta situación anterior la experimenté al efectuar el presente trabajo, al no saber las normas a las que debería de ajustarme al elaborar el proyecto mencionado. Sin embargo, creo que es una inquietud que de alguna manera podrá servir en el futuro para la elaboración de niveles permitidos de contaminación.

El trabajo elaborado y los resultados obtenidos se encuen-

tran bajo la legislación de este reglamento en lo referente a que las -  
emisiones de humo se disminuyen considerablemente mediante la utiliza- -  
ción de los sistemas mencionados en el capítulo IV, consistentes en la -  
utilización de óxido de calcio para la captación del bióxido de azufre -  
producido y, consecuentemente, para la disminución de humos producidos -  
en la combustión. En lo que se refiere a la carta de Ringelmann, es nece-  
sario mencionar que cualquier equipo de combustión estacionario, si se -  
encuentra trabajando en condiciones óptimas de limpieza y operación, di-  
fícilmente superarán sus emisiones de humo, a las permitidas en el regla-  
mento con el número dos de dicha carta.

## CONCLUSIONES

- 1.- La contaminación ambiental es un fenómeno que se presenta con la aparición del hombre sobre la tierra, y que en estos últimos años, se ha acrecentado en forma alarmante. Este fenómeno afecta a todos los habitantes de la tierra, y su prevención y posible solución requiere de la cooperación y el esfuerzo de todos los ciudadanos.
- 2.- La optimización de los sistemas de combustión y el uso adecuado de los combustibles contribuyen a disminuir la contaminación ambiental. Así mismo, se evita una racionalización de combustibles lo que retrasaría la utilización de nuevas fuentes de energía.
- 3.- Los molinos de nixtamal, las panaderías, los baños públicos, los restaurantes, y en general todas las pequeñas industrias y establecimientos que requieren combustibles para su funcionamiento, son fuentes fijas de contaminación atmosférica, cuyas emisiones contaminantes no se encuentran reglamentadas o legisladas.
- 4.- La Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental, es una legislación reciente que todavía no cubre algunos aspectos relacionados con las emisiones de pequeñas industrias, y sobre todo, las emisiones de gases y vapores.

- 5.- El presente trabajo, que se relaciona básicamente con las -  
emisiones contaminantes producidas en las calderas de los mo-  
linos de nixtamal, pretende ser una aportación para la legis-  
lación de las emisiones de gases y vapores, en base a los da-  
tos reportados aquí.
- 6.- El sistema propuesto de prevención y control, más que una -  
innovación, responde a una inquietud personal sobre la posi-  
ble aplicación del óxido de calcio en el control de la conta-  
minación atmosférica.
- 7.- El uso del sistema de prevención nombrado con la letra (a) -  
nos evita la utilización de gas L.p. como combustible en es-  
te tipo de calderas (tubos de humo), debido a que el gas - -  
L.p. tiene un elevado costo, y a que es relativamente difi-  
cil de conseguirlo debido a su escasez.
- 8.- La utilización de otros combustibles más ligeros que el com-  
bustóleo nos evita la utilización del sistema (a), puesto -  
que el combustible Diesel y el petróleo Diáfano tienen un me-  
nor contenido de azufre.
- 9.- El petróleo diáfano ( bajo costo y menor contenido de azu- -  
fre), es el combustible que se puede emplear con buena capta-  
ción y ventaja económica en las calderas que operan en forma  
intermitente como son las utilizadas en los molinos de --  
nixtamal.
- 10.- El sistema ( b ), puede, por su factibilidad económica, su-

plir el uso de gas L.p. y de combustible Diesel, no así el -  
petróleo diáfano.

11.- Los dos sistemas aquí propuestos (a) y (b), son los que yo -  
considero más apropiados para su utilización en la preven- -  
ción de la contaminación producida por la combustión que se -  
lleva a cabo en las calderas de los molinos de nixtamal, de-  
bido a que las otras formas o sistemas de prevención resul-  
tan más costosos puesto que se utilizan equipos complicados -  
y reactivos de costo elevado. En el caso particular de la -  
absorción de  $SO_2$  en agua o en soluciones alcalinas, además -  
del equipo necesario para efectuar la recirculación de la -  
solución absorbidora para llegar a su saturación, se tiene -  
el inconveniente de la elevada temperatura que se tiene en -  
la chimenea, lo que nos produce una pérdida considerable por  
evaporación de las soluciones absorbedoras.

12.- Las soluciones alcalinas y acuosas, unidas al  $SO_2$ , nos produ-  
cirán una considerable corrosión en los equipos de preven- -  
ción, lo que se traducirá en el empleo de materiales especí-  
ficos, aumentando con esto el costo total del sistema.

13.- Los sistemas propuestos (a) y (b), puesto que no se emplean -  
en unión de agua, para producir soluciones acuosas, causan -  
una menor corrosión del equipo.

14.- El reactivo principal utilizado en estos sistemas ( $CaO$ ), es -  
una materia prima que se encuentra en todos los molinos de -  
nixtamal, debido a que se utiliza para el cocimiento del - -

maíz, para al final obtener el nixtamal.

- 15.- En lo referente a una futura expansión del reglamento para -  
la prevención y control de la contaminación atmosférica ori-  
ginada por la emisión de humos y polvos, los dos sistemas -  
propuestos podrán trabajar con una exactitud aceptable si se  
emplea una cantidad de CaO de manera que se remueva la cantidad  
de SO<sub>2</sub> que se exceda de las normas que se establezcan.

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

- 1.- "Prospects of using dry calcium carbonate for sulfur removal from combustion gases". Revista, International Chemical Engineering, volumen 16, no. 1, Enero 1976.  
Autor: M. Hartman. Checoslovaquia.
- 2.- "Contaminación Atmosférica de Oxidos de Azufre". Tesis UNAM. 1970  
Autor: Bárcena Ibarra Vicente Agustín.
- 3.- Standard Methods of Chemical Analysis.  
Frank J. Welcher, Ph. D  
6a. Ed. Volumen 3. Van Nostrand Reinhold Company.
- 4.- Air Pollution and its Control.  
American Institute of Chemical Engineers, 1972.  
No. 126, volumen 68.
- 5.- Air Pollution Handbook.  
Magill Paul L. 1871
- 6.- Encyclopedia of Chemical Technology.  
Kirk-Othmer, Volumen 7, 12. 1954.
- 7.- Medio Ambiente Humano. Problemas Ecológicos Nacionales.  
Serie Estudios / 1; Cuadernos de Documentación, Secretaría de la Presidencia. México, 1972.

- 8.- IX Censo Industrial, 1971.  
División 2,3; Industrias de Transformación.
- 9.- "Diseño de un calentador de crudo a fuego directo". Tesis UNAM, 1973  
Autor: Torres Campos David.
- 10.- "El problema de la contaminación atmosférica en la ciudad de México". Tesis UNAM, 1967.  
Autor: Fertman Karasik León.
- 11.- "Diseño de calentadores de fuego directo por el método de Lobo y -  
Evans". Tesis UNAM, 1973.  
Autor: Mallen Garza Ignacio de Jesús.
- 12.- "La emisión industrial de contaminantes atmosféricos y equipos para su control, en la ciudad de México". Tesis, Universidad Iberoamericana.  
Autores: Corona Lira Carlos y Ruiz Urquhart Jorge, 1973.
- 13.- Chemical Engineering Plant Design.  
Villbrandt, F. C. and Dryden, C.E.  
Mc Graw Hill Book, Co. New York.
- 14.- A Course in Process Design.  
T. K. Sherwood.  
MIT Press.

- 15.- "Contaminación y deterioro del medio ambiente".  
Memorias del curso de actualización impartido el mes de Abril de -  
1975, por la División de Estudios Superiores de la Escuela Nacio--  
nal de Arquitectura, UNAM.
  
- 16.- "La Contaminación".  
Autor: Luis Suárez. Testimonios del Fondo de Cultura Económica, --  
1974.
  
- 17.- Boilers; Types, Characteristics, and Functions.  
Carl D. Shields.  
F.W. Dodge Corporation, New York, 1961.
  
- 18.- Combustion Engineering.  
(a reference book on fuel burning and steam generation).  
Otto de Lorenzi, M. E.  
Ed. Combustión Engineering-Superheater, inc. 1949.
  
- 19.- Ecología - Contaminación - Medio Ambiente.  
Amos Turk, Jonathan Turk y Janet T. Wittes.  
Ed. Interamericana, 1973.
  
- 20.- Chemical Engineers Handbook.  
Robert H. Perry, Cecil H. Chilton.  
5a. Edición, 1973.  
Mc Graw-Hill, Kogakusha, Ltd.

- 21.- "Evaluación de proyectos de ingeniería ambiental". Memorias del curso impartido en el centro de educación continua, de la división de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Diciembre, 1975.
- 22.- Process Heat Transfer.  
Donald Q. Kern.  
Mc Graw-Hill Book Co. Inc. 1950.
- 23.- Mass-Transfer Operations, 2a. Edición.  
Robert E. Treybal.  
Mc Graw-Hill Book Co. Inc. 1955.
- 24.- Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración.  
Eduardo Hernández Goribar.  
Editorial Limusa, 1973.
- 25.- Contaminación Ambiental, Nueva Espada de Damocles.  
Colección: Hoy, el Hombre.  
Editorial Samo, S. A. 1972.
- 26.- Process Furnaces. Revista, Chemical Engineering, Abril 1960.  
Autores: Peter Ellwood y Steve Danatos.
- 27.- Hydrocarbon Processing, Revista.
- |            |         |           |       |
|------------|---------|-----------|-------|
| Volumen 53 | No. 10, | Octubre   | 1974  |
| " "        | 11,     | Noviembre | 1974  |
| " 54       | 5,      | Mayo      | 1975  |
| " "        | 10,     | Octubre   | 1975  |
| " 55       | 2,      | Febrero   | 1976  |
| " "        | 4,      | Abril     | 1976  |
| " "        | 5,      | Mayo      | 1976. |

- 28.- 1974 General Motors Report on Programs of Public Interest.
- 29.- "Análisis de la Potencialidad Económica del área Metropolitana".  
1a. Edición, México, 1970.  
Centro de Estudios Económicos del Sector Privado, A.C.
- 30.- Cuadernos y folletos de información y difusión de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente.
- 31.- "El aire que nos rodea está cambiando".  
Revista Mecánica Popular, autor: Clifford B. Hicks  
Noviembre 1964.
-