



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN
DISPOSITIVO ABSORBEDOR DE CONTAMINANTES
ATMOSFERICOS (D.A.C.A.)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA MECANICA)

P R E S E N T A N :
ABRAHAM MARTINEZ BAUTISTA
FRANCISCO JAVIER DURAN DIAZ
MARTIN FRUTIS GODINEZ

DIRECTOR: ING. ARMANDO MALDONADO SUSANO



MEXICO, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

INDICE.

INTRODUCCION.	3
CAPITULO I. Antecedentes.	
1.1 Antecedentes Históricos.	4
1.2 Principales contaminantes en la Cd. de México.	8
1.2.1 Fuentes de Contaminación.	10
1.2.2 Contaminantes atmosféricos.	12
1.3 Situación actual del aire.	31
CAPITULO II. Efectos de los contaminantes.	
2.1 Efectos directos sobre el hombre.	43
2.2 Daños causados a los vegetales.	49
2.3 Daños causados a los animales.	53
2.4 Deterioro de materiales.	53
CAPITULO III. Medidas y equipos utilizados en el control de contaminantes	
3.1 Medidas y planes considerados para la reducción de contaminantes atmosféricos	54
3.2 Equipos absorbedores de partículas.	59
3.3 Equipos absorbedores de gases.	95

CAPITULO IV. Diseño y construcción del dispositivo.	
4.1 Variables consideradas en el diseño.	114
CAPITULO V. Pruebas.	
5.1 Modelos experimentales.	123
5.2 Etapa de Pruebas.	128
5.2.1 Pruebas en túnel de viento para la visualización de flujo de aire dentro del modelo.	128
5.2.2 Comportamiento del modelo en condiciones dinámicas.	138
5.2.3 Comportamiento del modelo con soluciones en condiciones reales.	141
5.2.4 Experimentación del modelo expuesto a la emisión de gases de combustión de un motor diesel.	153
CAPITULO VI. Conclusiones y recomendaciones.	164
APENDICE A.	168
APENDICE B.	171
BIBLIOGRAFIA.	175

Introducción.

A través de los años el hombre ha buscado medios para lograr un mejor bienestar, por ello, ha desarrollado tecnologías que de alguna manera han contribuido a ello. El desarrollo de tecnologías; principalmente para la industria en general, no sólo han ayudado, también han provocado uno de los principales problemas a los cuales se haya enfrentado la humanidad; La Contaminación del Aire y del Medio Ambiente. Durante mucho tiempo la naturaleza pareció ser un depósito del que el hombre podía proveerse, sin límite, para satisfacer sus necesidades: aire, agua, alimentos, materias primas. Pero, desde hace algunas décadas, la degradación del medio ambiente crece en tales proporciones que ha sido necesario estudiar y adoptar medidas, a escala mundial, para salvaguardar la naturaleza y asegurar la supervivencia del hombre.

Es por ésto que el presente trabajo se enfoca principalmente al problema de la contaminación del aire; identificando los diferentes contaminantes que existen así como los efectos que causan sobre la salud humana y las diferentes formas de eliminarlos. Posteriormente se propone una solución para lograr eliminar algunos contaminantes y obtener un cierto grado de pureza en el aire que respiramos, llegando hasta el diseño y fabricación de un prototipo que permita lograrlo.

CAPITULO 1 ANTECEDENTES.

1.1 Antecedentes Históricos.

Sin duda que el problema de Contaminación del Aire no es un fenómeno reciente pues la historia ecológica del planeta bien pudiese narrarse sobre un inmenso fresco en el que se haya pintado sucesivamente el nacimiento de la vida, la evolución de las especies y de los ecosistemas a lo largo de las eras prehistóricas y que termine con la epopeya de la conquista humana. El último episodio, que llega hasta nuestros días es el más apasionante y significativo, ya que narra la historia de la toma de posesión del planeta por la especie humana, cuyos orígenes fijan los más atrevidos estudiosos de la prehistoria en unos 15 millones de años, aproximadamente.

La irrupción de los prehomínidos en su medio ambiente constituye la primera etapa de una serie de modificaciones irreversibles para los equilibrios naturales. En efecto, el hombre primitivo, que aparentemente está en inferioridad de condiciones frente a sus enemigos, se mostrará enseguida como un temible depredador, capaz, entre otras cosas, de eliminar a los competidores molestos, o de acelerar la desaparición de grandes especies.

La segunda etapa importante se producirá a principios del Neolítico, 5000 años A.C.; el hombre se hace sedentario, al convertirse en agricultor y pastor.

Hacerse agricultor supone roturar espacios vírgenes, seleccionar plantas, domesticar animales y protegerlos de los depredadores. Se ha roto el equilibrio natural y el hombre es dueño del juego de la vida. El desarrollo de la agricultura marca la señal de la expansión de las comunidades humanas; desde ese momento no dejará de crecer una civilización urbana. La tercera etapa fundamental comenzará con el advenimiento de la civilización industrial, en el siglo XIX. El poder de la máquina permitirá la multiplicación de los bienes y entonces entran en juego otras fuerzas para provocar la cuarta fase, que se caracteriza por el impresionante auge demográfico de finales de éste milenio y la escasez paralela de recursos naturales.

Algunas experiencias, en cuanto a la contaminación del aire se refiere, narran episodios trágicos que quizá el hombre jamás pensó que sucederían; posiblemente imaginó que lo importante era satisfacer necesidades sin pensar en las consecuencias que ésto traería. La tecnología desarrollada pronto daría sus frutos; incrementaría la contaminación del aire y el problema sería, cada vez mayor. Precisamente a principios de diciembre de 1930 Valle del Mosa, en Bélgica, sufrió los problemas de una intensa niebla,

agravados por un cambio de temperatura que impedía toda la ventilación.

Esta concentración de contaminantes provocó trastornos respiratorios importantes; tales como: opresión, irritación de la garganta, ronqueras, tos e incluso vómitos, irritación ocular y lagrimeo; además se produjeron 60 muertes. Años después, en Octubre de 1948, en Donora Pennsylvania, se produjeron condiciones climáticas caracterizadas por un cambio de temperatura y por una ausencia casi total de vientos, debido a éste fenómeno sus habitantes presentaron síntomas similares a los observados en el Valle del Mosa y 20 personas perdieron la vida. En Diciembre de 1952 un SMOG muy espeso cubrió la ciudad de Londres y durante algunos días un número inusitado de personas se quejaron de trastornos importantes: derramamiento nasal, dolores de garganta, dificultad respiratoria, opresión cardíaca, cianosis, tos y fiebre. Al igual que en los casos anteriores también hubo muertes, pero fueron 4000 quienes fallecieron.

En Noviembre de 1950 en Poza Rica, México; se produjo un accidente debido a la ruptura de una canalización en una fábrica de tratamiento de gas natural; su interés proviene, sin embargo, de una emisión de gas sulfurado que provocó síntomas análogos a los observados en los accidentes anteriores y además causó la muerte de 22 personas.

Algo que es importante señalar es que las víctimas padecían enfermedades tales como: bronquitis, enfisema o problemas del corazón, siendo éstos últimos los más afectados.

Estos son algunos de los episodios que se han presentado durante un periodo no muy acelerado, en cuanto a desarrollo tecnológico se refiere; es obvio pensar que en el crecimiento actual, se ha incrementado la contaminación y por tanto se debe poner mayor atención a éste problema por los efectos que ya en la actualidad se están presentando y que conllevan al deterioro de nuestro medio ambiente afectando directamente al bienestar del ser humano.

La contaminación es un problema mundial y uno de los más importantes; sin duda, México no queda exento de él. Es por ello que se atiende éste problema y en especial al de la Ciudad de México.

El desarrollo industrial de México se inicia con la instalación de diferentes empresas, como por ejemplo de cementeras, textiles, cerveceras y en general de alimentos.

Este desarrollo industrial trajo las siguientes consecuencias:

a) El crecimiento desproporcionado de algunas poblaciones, siendo la Ciudad de México la más afectada.

b) Aparentemente un buen desarrollo industrial sin mencionar antes que dicho desarrollo fué producto de tecnologías de importación obsoletas, en las cuales no se tomó en cuenta el problema de la contaminación.

Lo anterior ha dado una serie de problemas críticos que requieren de soluciones que protejan, restauren y mejoren el medio ambiente. Para ello, es necesario contar con un conocimiento profundo de las posibles soluciones y canalizarlas de una manera adecuada para lograr esa mejoría en nuestro medio ambiente.

Con todo lo anterior, se procede a realizar el estudio y análisis del problema y posteriormente buscar la solución adecuada.

1.2 Principales Contaminantes del Aire en la Cd. de México.

A continuación se mencionan los contaminantes atmosféricos más representativos. Pero desde ahora se fija la atención en el hecho de que las sustancias pueden encontrar, a menudo, condiciones favorables para transformarse o reaccionar entre ellas o con el oxígeno atmosférico, dando lugar a nuevos gases los cuales están, a veces, dotados de propiedades agresivas y muy molestas para los seres vivos o las plantas que soportan sus efectos.

La atmósfera se compone principalmente de Nitrógeno, Oxígeno

y varios gases nobles, cuyas concentraciones han permanecido considerablemente estables. También están presentes, en cantidades pequeñas otros gases y vapores como son: vapor de agua, dióxido de carbono y el ozono, así como los contaminantes comunes del aire.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los gases principales y sus concentraciones en el aire.

Componente	Concentración aproximada
Nitrógeno (N_2)	78.03 por ciento en volumen
Oxígeno (O_2)	20.99 por ciento en volumen
Bióxido de carbono (CO_2)	0.03 por ciento en volumen
Argón (A)	0.94 por ciento en volumen
Neón (Ne)	0.00123 por ciento en volumen
Helio (He)	0.0004 por ciento en volumen
Criptón (Kr)	0.00003 por ciento en volumen
Xenón (Xe)	0.000006 por ciento en volumen
Hidrógeno (H_2)	0.01 por ciento en volumen
Metano (CH_4)	0.0002 por ciento en volumen
Oxido nítrico (N_2O)	0.00003 por ciento en volumen
Vapor de agua (H_2O)	variable
Partículas	variable en tipo y cantidad
Ozono (O_3)	variable
Formaldehído (HCHO)	dudoso

¹ Los tipos y concentraciones de estas sustancias pueden variar mucho de una región a otra y de un período a otro respecto a las condiciones naturales.

² Por las radiaciones ultravioleta y probablemente las tormentas, las concentraciones varían de 0 a 0.07 ppm.

³ Procedente de fuentes biológicas o de la oxidación del metano; no se han determinado las posibles concentraciones.

Aparentemente la naturaleza de la atmósfera es invariable, sin embargo, no es así, dado que es un sistema dinámico cuyos componentes están continuamente siendo intercambiados con la vegetación, los océanos y los organismos vivos.

Existen los llamados ciclos de los gases atmosféricos los cuales comprenden una serie de procesos químicos y físicos. Por otra parte, se producen gases en la propia atmósfera por procesos químicos (fotoquímica), por actividad biológica así como por las actividades industriales y humanas.

Por otra parte, los gases son eliminados de la atmósfera por procesos físicos tales como la formación de partículas de mayor tamaño (aglomeración), sedimentación y asimilación del agua y de la tierra.

Según el tipo de contaminante, el tiempo de permanencia de una molécula introducida en la atmósfera puede oscilar entre algunas horas y varios años.

1.2.1 Fuentes de Contaminación.

El origen de la contaminación se da sin lugar a dudas, debido a las diferentes fuentes de emisión que se han creado dentro de las cuales destacan las que a continuación se mencionan:

a) Los transportes.

- b) La producción de energía eléctrica.
- c) La incineración de residuos.
- d) El consumo de combustibles comerciales y domésticos.
- e) Los procesos industriales.

En general la mayoría de las especies consideradas como contaminantes atmosféricos provienen tanto de fuentes naturales como de fuentes artificiales. Aún cuando existen fuentes naturales de contaminación atmosférica como las erupciones volcánicas, las tolveneras y los incendios forestales; son las fuentes causadas por el hombre las que ocupan la atención de ésta sección.

Estas últimas se clasifican en fuentes fijas y fuentes móviles; dentro de las primeras se incluyen principalmente la actividad industrial, la cual comprende las industrias que a continuación se mencionan:

- a) Refinería de petróleo.
- b) Plantas termoeléctricas.
- c) Plantas de cemento.
- d) Fundiciones.
- e) Industrias de jabón y detergente.
- f) Industrias químicas.
- g) Industrias de fertilizantes.
- h) Plantas de ácido sulfúrico.
- i) Industrias de papel y celulosa.

- j) Productora de asfalto.
- k) Mineras no metálicas.
- l) Metalurgia no ferrosa.
- m) Industrias del vidrio.
- n) Industria huleira.
- o) Fábrica de pesticidas.
- p) Rastros.
- q) Tabiquerías.

Por lo que respecta a las fuentes móviles son los vehículos automotores los involucrados. En ambos casos se emplea la combustión, la cual es el proceso de emisión de contaminantes más significativo, para obtener calor, generar energía eléctrica o en su defecto movimiento.

1.2.2 Contaminantes Atmosféricos.

En esta sección se describen las clases principales de contaminantes; entendiéndose por ello, la adición de materia indeseable transportada por el aire y al mismo tiempo sustancias que no se consideran componentes naturales del mismo.

Debido a la gran variedad de sustancias que existen y que son capaces de permanecer en el aire, resulta difícil establecer una clasificación de las mismas. Sin embargo, los contaminantes

atmosféricos pueden dividirse en dos grandes grupos, los cuales se mencionan a continuación:

- 1) Contaminantes Primarios.- Son aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión.
- 2) Contaminantes Secundarios.- Son aquellos originados por la interacción química (fotoquímica) entre los contaminantes primarios y los componentes normales de la atmósfera en presencia o ausencia de la luz solar.

Mediante el análisis de las emisiones procedentes de varias fuentes se puede obtener información sobre el tipo y cantidad de los contaminantes primarios emitidos, generalmente en términos de especie química y estado físico en que se encuentran (gotas, gas, líquidos y partículas), mientras que para la identificación de contaminantes secundarios se pueden realizar mediciones en la atmósfera .

Los contaminantes atmosféricos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) Contaminantes de azufre (SO_x).
- b) Compuestos de nitrógeno (NO_x).
- c) Compuestos de carbono.
- d) Ozono.
- e) Contaminantes minerales diversos.
- f) Partículas en suspensión.
- g) Compuestos radioactivos.

Cabe señalar que en el presente trabajo no se tratarán los compuestos radioactivos debido a su carácter especial.

Es importante mencionar que los contaminantes secundarios resultan de reacciones químicas en la atmósfera; éstas reacciones pueden ser de varios tipos las cuales son:

- a) Reacciones térmicas en fase gaseosa.
- b) Reacciones fotoquímicas en fase gaseosa.
- c) Reacciones térmicas en fase líquida.

Las reacciones térmicas en fase gaseosa provienen de la colisión de las moléculas con los niveles de energía apropiados, constituyen el tipo normal de reacciones químicas.

Las reacciones fotoquímicas por otra parte, implica la disociación o excitación de una molécula una vez que ésta ha absorbido cierta radiación.

Las reacciones en fase líquida son generalmente de naturaleza iónica, pudiendo ser catalizadas por las sustancias presentes en el líquido. Las superficies de las gotas del líquido o de las partículas sólidas pueden proporcionar el lugar apropiado para reacciones que no ocurrirán de otro modo.

Compuestos de Azufre.

Las fuentes de los compuestos atmosféricos del azufre son la

combustión de hidrocarburos fósiles (carbones de calidades diversas o aceites minerales), la descomposición y la combustión de materia orgánica. Todos éstos combustibles contienen azufre en proporción más o menos importante, pudiendo ser hasta del 6% .

Después del fenómeno de combustión, éste azufre se integra a la atmósfera en forma de dióxido de azufre (SO_2), posteriormente se oxidará para formar trióxido de azufre (SO_3), constituyendo así los óxidos principales de azufre. Dicha oxidación tiene lugar por medio de uno de los procesos siguientes:

- a) Catalítico.
- b) Fotoquímico.

El proceso catalítico prevalece en condiciones muy húmedas cuando las gotas de agua absorben fácilmente el SO_2 . Además en las gotas de agua se encuentran sales metálicas de Hierro y Manganeso que fueron adquiridas al contacto con el polvo, la presencia de éstas sustancias ajenas dan origen a núcleos de condensación que al mismo tiempo obran como catalizador, de ésta manera el SO_2 , las sales y el oxígeno disueltos en las gotas reaccionan rápidamente; ésta reacción puede desarrollarse tanto a la luz como en la oscuridad.

El proceso fotoquímico está asociado con condiciones diurnas de baja humedad, es decir, en fase gaseosa y bajo la influencia de

la luz solar. La primera etapa del proceso es la absorción de luz por una molécula de SO_2 , dando lugar a una molécula con mayor energía; ésta última se une o reacciona con una molécula de oxígeno para producir finalmente trióxido de azufre y ozono.

El SO_3 formado reacciona casi inmediatamente con el H_2O , captándola de la humedad del medio ambiente, para formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) el cual a su vez se combina fácilmente (a nivel atmosférico) con gotitas de agua (rocío) para dar origen a una solución de ácido sulfúrico. Esta solución es especialmente peligrosa, sus efectos se estudiarán en el capítulo dos.

Otro compuesto de azufre es el hidrógeno sulfurado (H_2S). El origen de éste gas son fuentes específicas como las putrefacciones, en depósitos de basura y refinerías siendo éstas últimas las que emiten cantidades notables, su olor es característico y desagradable.

En general el azufre es eliminado fácilmente de la atmósfera a través de varios procesos como:

- a) Retención y arrastre por agua de lluvia.
- b) Difusión en la tierra o vegetación.
- c) Sedimentación de partículas secas de sulfato.

En el primer caso, la retención incluye todos los procesos que tienen lugar en el interior de las nubes, mientras que el

arrastre consiste en el proceso de eliminación directa causadas por la precipitación pluvial.

En el segundo caso es una consecuencia directa de la precipitación pluvial, una vez que el azufre se encuentra en la tierra tiende a penetrar en la misma, vía el fenómeno de difusión.

Respecto al tercer caso, la sedimentación se da por aglomeraciones que no logran disolverse y por tanto no pueden penetrar a la tierra.

Compuestos de Nitrógeno.

En la atmósfera el nitrógeno se encuentra en cinco diferentes formas; éstas incluyen el propio gas nitrógeno (N), amoniac (NH₃), óxido de nitrógeno (N₂O), óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂).

El nitrógeno (N).

El gas nitrógeno es el mayor compuesto del aire de la atmósfera, aproximadamente un 78% y no se considera contaminante.

El amoniac (NH₃).

Es emitido principalmente por fuentes naturales (descomposición biológica en la superficie de la tierra). Se encuentra en la atmósfera en pequeñas cantidades, sin embargo, puede encontrarse en concentraciones mucho más elevadas en el

escape de los automotores o en algunas fábricas. Puede reaccionar con los ácidos sulfúrico y nítrico para formar sales y nitratos.

Oxidos de nitrógeno (N_2O).

Se componen del óxido de nitrógeno (N_2O), el óxido nítrico (NO) y del dióxido de nitrógeno (NO_2). El N_2O es un gas incoloro emitido en casi su totalidad por fuentes naturales tales como las tempestades, las erupciones volcánicas, por acción bacteriana en el suelo y por la reacción entre N_2 , O_2 y ozono (O_3) en la alta atmósfera. Es inerte químicamente bajo condiciones normales de temperatura y no está considerado como contaminante atmosférico.

Oxido nítrico (NO).

Es incoloro y tiene una concentración más elevada en el aire debido a las actividades humanas, la descomposición biológica y la combustión a altas temperaturas, tanto en hornos de tratamiento térmico como en motores de combustión interna, éstas son algunas de las fuentes de emisión más importantes del NO .

El NO tiene una toxicidad muy elevada, más elevada incluso que la del monóxido de carbono del cual se hablará más adelante.

Dióxido de nitrógeno (NO_2).

Por su parte, el NO_2 tiene un color castaño rojizo y es nocivo, es emitido junto con el NO a través de los procesos de combustión mencionados y además por la oxidación directa del NO en la atmósfera, tanto el NO_2 como el NO contribuyen a la formación del smog.

Compuestos de Carbono.

Los compuestos de Carbono se clasifican en dos grupos:

- 1) Oxidos de carbono.
- 2) Compuestos que contienen carbono e hidrógeno.

Dentro de los óxidos de carbono se encuentran el monóxido de carbono (CO) y el bióxido de carbono (CO₂).

Por lo que respecta a la segunda clasificación se tienen a los hidrocarburos y los aldehidos.

a) Monóxido de carbono (CO)

Este gas es incoloro, inodoro y no irritante, pero, muy tóxico. Es el producto de combustiones incompletas de sustancias orgánicas (carbón y combustibles fósiles) siempre que la cantidad de oxígeno es insuficiente.

Se produce naturalmente debido a erupciones volcánicas, descomposición de clorofila, incendios forestales y acción microbiológica en océanos. Sin embargo también lo producen fuentes antropogénicas como los incendios en la agricultura, producción de acero y sin lugar a duda su fuente principal está constituida por los gases de escape de los automóviles.

El monóxido de carbono es el contaminante de aire más abundante de la baja atmósfera, sin embargo, puede ser destruido

en la estratósfera por medio de reacciones fotoquímicas pudiendo ser estas un importante proceso de eliminación.

b) Bióxido de carbono (CO_2).

El CO_2 , es un componente normal del aire y parte del ciclo de carbono de la biósfera, sin embargo, es el producto normal de las combustiones de toda materia orgánica (carbón, petróleo y gas natural) o de la descomposición biológica.

Las moléculas del CO_2 , a diferencia de los demás componentes del aire puro, poseen la propiedad de absorber la radiación infrarroja (calor) del sol ayudando a evitar un exceso de calentamiento en la superficie de la tierra. Sin embargo, el CO_2 es removido de la atmósfera por fotosíntesis en plantas y reestablecido por reacciones biológicas.

c) Hidrocarburos.

Son compuestos formados por carbono e hidrógeno, pueden ser saturados o no saturados. En los saturados cada átomo de carbón está ligado a otros cuatro, mientras que en los no saturados se encuentra una doble y hasta triple ligadura nada más. Los compuestos que contienen de uno hasta cuatro carbonos son gases y los que tienen de cinco a más son sólidos o líquidos.

Estos hidrocarburos provienen de la evaporación de productos petrolíferos al nivel de los depósitos, de los carburadores de vehículos cuyo combustible es la gasolina; éste último caso ocurre

cuando el motor deja de funcionar y se encuentra caliente todavía.

Pero la fuente principal reside en combustión incompleta de combustibles que contienen carbono durante el ciclo de funcionamiento de los motores.

Las olefinas, que provienen sobre todo del crack-up de los hidrocarburos saturados durante su breve paso, a altas temperaturas, por los cilindros del motor, juegan un papel extremadamente importante al establecerse el smog.

En la atmósfera también se encuentran polvos resultantes de la combustión en cilindros de los motores, los cuales contienen alquitranes formados por la descomposición pirógena de combustibles y carburantes; éstos alquitranes reúnen hidrocarburos poliaromáticos que resultan compuestos cancerígenos.

d) Aldehídos.

Estos provienen del gas de escape de los automóviles, de humos de incineradoras y de manera general de la combustión de diversas materias orgánicas; también pueden formarse por oxidación de hidrocarburos después de su introducción en la atmósfera.

Ozono(O₃).

El ozono es un constituyente natural, incoloro que normalmente se encuentra en concentraciones muy bajas en el aire que respiramos (12 ppm), su concentración aumenta con la altura, es venenoso para el organismo humano e irónicamente, es esencial para la vida.

Es una sustancia químicamente reactiva, está compuesta por tres átomos de oxígeno que forman un enlace interno muy fuerte, a diferencia del oxígeno que abunda a nivel de la tierra cuya composición es de dos átomos de oxígeno y cuyo enlace es más fácil de romper, en ocasiones se utiliza para combatir el olor de gases de escape (como los que provienen del tratamiento de aguas negras) oxidándolos en productos de olor menos desagradable antes de ser liberados a la atmósfera.

La mayor parte de ozono del planeta se encuentra en una capa de 5 km de ancho alrededor de toda la tierra y a unos 20 km de altura de ésta.

Dicha capa tiene la propiedad de retener la mayor parte de la luz ultravioleta que llega a nuestro planeta proveniente del sol y es comúnmente llamada ozonósfera.

Cuando la luz del sol llega a ella, la energía de la luz ultravioleta de longitud de onda muy corta rompe el enlace de algunas moléculas de ozono.

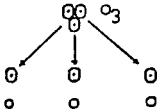


fig 1

Estos átomos de oxígeno libre son muy inestables por lo que requieren aliarse con cualquier otro elemento para completar sus niveles superiores de energía y lo más cercano que hallan son los otros átomos libres productos de la misma descomposición solo que ahora no se formará ozono, si no moléculas de O_2 .

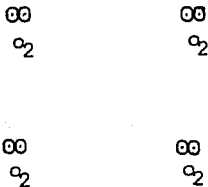


fig 2

Como ya se mencionó, éstas moléculas tienen un enlace más débil el cual sí alcanza a ser roto por la luz ultravioleta de longitud de onda más larga. De éste modo la luz ultravioleta pierde su energía en ésta capa atmosférica y ya no penetra a la superficie del planeta. Por su parte una molécula de O_2 rota, da origen nuevamente a dos moléculas de ozono.

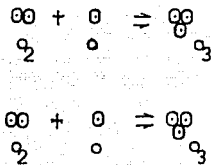


fig 3

Así en la ozonosfera se preserva la cantidad de ozono existente pero este es un equilibrio en extremo delicado, ya que si algún agente extraño (aerosoles o "spray" utilizados como propelentes, gases a base de nitrógeno, cloro y carbón) rompe un enlace en la cadena anteriormente explicada, no podrá regresarse a la cantidad de ozono original.

En las ciudades relativamente poco contaminadas por los gases de escape de automóviles, el ozono reacciona con los hidrocarburos, especialmente con las olefinas y desaparece.

Por el contrario, cuando se reúnen circunstancias especiales como pueden ser: alta contaminación, insolación intensa, presencia de otros gases contaminantes, que se designan colectivamente como oxidantes, vapores orgánicos con óxidos de nitrógeno, tráfico automovilístico considerable, además de los hidrocarburos mencionados; todo en conjunto da origen al smog oxidante con la

consecuencia inmediata del incremento en la concentración de ozono lo cual no es benéfico para el ser humano.

Contaminantes minerales diversos.

1) Fluor y sus derivados.

El fluor está muy extendido en la naturaleza en forma de fluoruros y acompaña casi siempre al fósforo en sus minerales por esta la materia prima de numerosas industrias de transformaciones destinadas especialmente a la producción de abonos (Ácido fosfórico, fosfatos de amonio, superfosfatos, etc) aquí los tratamientos por calcinación o ataque sulfúrico van acompañados de emisiones fluoradas.

La industria de la elaboración del aluminio, a partir de la bauxita por electrólisis en fase ígnea, utiliza la criolita como fundente; se trata de un hexafluoroaluminato de sodio. A elevadas temperaturas en que tiene lugar el preparado, son inevitables los impulsos de productos fluorados.

2)Plomo y sus derivados

El plomo y sus derivados, especialmente sus óxidos, tienen dos posibles orígenes: localmente, se encuentran en las proximidades de fábricas que preparan o utilizan este metal en estado de fusión sobre todo alrededor de los que se dedican a la

recuperación de desperdicios plumbíferos (canalizaciones viejas, placas de acumuladores, etc); pero en general, su presencia en la atmósfera se debe a la introducción de compuestos orgánicos en los combustibles líquidos para motores de automóviles. Estos compuestos (los tetraalquilplomos, por ejemplo, como el tetrametil, tetraetil, etc) son conocidos por su propiedad de conferir un cierto poder antidetonante a las gasolinas.

Durante la combustión de la mezcla carburada en los cilindros, estos compuestos sufren una destrucción más o menos profunda, y el plomo se encuentra en el gas de escape en forma de metal, de óxidos o incluso de compuestos diversos por reacción con otros constituyentes (los derivados halogenados, por ejemplo). Una pequeña proporción de plomo se encuentra en el aire, formando parte de compuestos orgánicos.

3) Óxidos de hierro.

La fuente principal de emisión de óxidos de hierro a la atmósfera es la siderurgia. En los convertidores se suministra aire, rico en oxígeno, al metal fundido para quemar al carbón, pero es inevitable que el oxígeno reaccione con el metal formándose cantidades importantes de óxido férrico que se dispersa por los alrededores.

4) Los silicatos.

Se puede observar al pasar por una fábrica de cemento, que el

paisaje ha perdido sus colores naturales, y todo aparece cubierto por una capa de color blanco. Los tejados de las casas, los árboles, las tierras están cubiertas por una película más o menos espesa de polvo de cemento procedente de los hornos. Esta evidente manifestación de una polución local no debe hacer olvidar que se trata solamente de partículas sedimentadas, las más pesadas y que otra considerable fracción de películas más pequeñas son arrastradas más o menos lejos, y constituyen una de las causas principales de la presencia de silicatos en la atmósfera, que también puede ser debida a emisiones de trituradores primarios que actúan en los alrededores de las canteras.

Partículas en suspensión.

Al tratar de los escapes de los automóviles, de los óxidos de hierro y de los silicatos, ya se ha abordado el problema del polvo y especialmente de las emisiones de partículas.

Las partículas se distinguen no solo por su composición química sino también por su tamaño. Por otra parte se les denomina aerosoles, entendiéndose por ello, cualquier partícula pequeña contenida en el aire.

A continuación se muestra una clasificación del tamaño de los aerosoles atmosféricos.

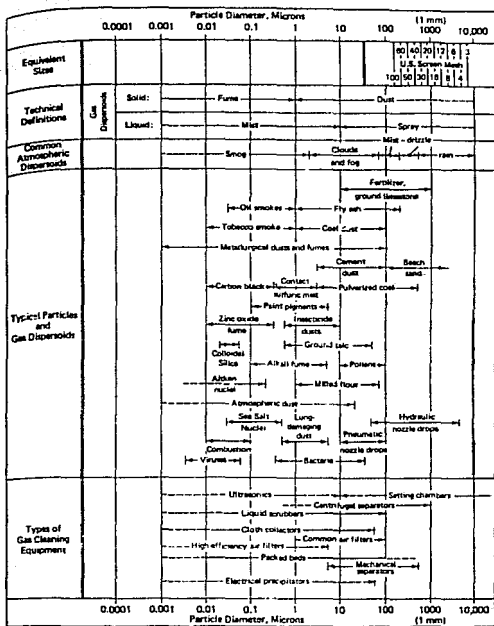


fig. 4 Características de partículas dispersas (Fuente: C.E. Laple. Journal 5, 1961 Instituto de Investigación de Stanford)

Las fuentes de aerosoles pueden clasificarse en fuentes primarias y fuentes secundarias.

Los aerosoles primarios son aquellos que son emitidos directamente por la fuentes bajo la forma de partículas, tales como el polvo en suspensión suscitado por el viento y por las emisiones de las chimeneas de las industrias.

Los aerosoles secundarios consisten en partículas suspendidas las cuales se producen en la misma atmósfera, a causa por ejemplo, de reacciones químicas gaseosas que producen especies capaces de considerarse bajo la forma de partículas, éstas últimas son muy pequeñas (menores a las producidas por las fuentes primarias).

Debido a que, existe una gran diversidad entre los tipos de partículas, resulta conveniente clasificarlas en dos categorías:

- a) Partículas viables (capaces de vivir).
- b) No viables.

Partículas viables: comprenden los granos de polen, microorganismos como bacterias, tales como pelos, alas y piernas.

Partículas no viables: comprende una gran cantidad de materiales, algunos de fuentes naturales y otros resultantes de actividades del hombre. Los materiales naturales incluyen la arena, partículas de tierra, gotitas saladas cerca de la orilla del mar, polvo volcánico e inclusive partículas de origen extraterrestre.

Los contaminantes en partículas producidas por el hombre incluyen tanto materia orgánica como inorgánica. Una gran parte de la materia orgánica en partículas es en forma de humo proveniente de la combustión de carbón, petróleo, madera y basura.

Otras partículas orgánicas transportadas por el aire son polvos, insecticidas y algunos productos liberados por la elaboración de alimentos y la manufactura química. La materia inorgánica en partículas proviene en gran parte de la actividades metalúrgicas, de la manufactura química inorgánica y del plomo utilizado en la gasolina. Las actividades metalúrgicas más significativas son las que intervienen en la producción de hierro, acero, cobre, plomo, zinc y aluminio. La materia en partículas descargada en la atmósfera en cualquier proceso metalúrgico no es el metal puro mismo, sino uno o más de sus compuestos. Los productos minerales no metálicos comprenden cemento, vidrio, cerámicos y asbestos.

Las operaciones por medio de las cuales se producen éstas partículas son: voladura, perforación, trituración, molienda, mezcla y el secado.

Otros contaminantes inorgánicos en partículas son específicos de diversas operaciones de la manufactura química, tales como nieblas de ácido, debidas a la producción de los ácidos nítrico o sulfúrico y el polvo de fosfatos minerales provenientes de la manufactura de fertilizantes fosfatados.

1.3 Situación actual del aire.

La emisión de los diversos gases contaminantes por las diferentes fuentes tanto estáticas como móviles, ha sido de enorme preocupación para la población en general así como para los investigadores cuya función es analizar las condiciones en las que se encuentra el medio ambiente.

Por lo anterior, se han desarrollado e implementado en algunas países con estos problemas, medios para conocer o tener idea de la situación de la calidad del aire.

La calidad del aire en una región particular, depende en todo momento de la emisión de contaminantes, del comportamiento físico-químico de éstos, de la dinámica meteorológica la cual involucra la dispersión, transformación y remoción, además: otro factor importante es la característica orográfica de dicha región.



Fig. 5

Las emisiones a la atmósfera que resultan de la combustión de energéticos, es por mucho, la fuente más importante en el problema de la contaminación del aire. El nexo directo que existe entre el gasto de energía y las emisiones, no sólo en el sector productivo, sino también en el transporte y los servicios resulta evidente, además considerando el consumo energético en las diferentes regiones del país con respecto a la superficie total de cada una, se encuentra una explicación al problema de emisiones y deterioro en la calidad del aire que caracteriza a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Z.M.C.M.).

En el cuadro siguiente se muestra el consumo de energía en las diferentes regiones del país.

REGION	AREA km ²	CONSUMO DE ENERGIA	
		kcal x 10 ¹² año	kcal x 10 ⁸ km ²
NOROESTE	414,437	83,952	2.02
NORTE	368,735	24,048	0.65
NORESTE	295,955	152,124	5.14
CENTRO-NTE	143,477	17,028	1.18
CENTRO-PAC	145,456	87,140	4.61
CENTRO-OLF	72,815	64,128	8.80
CENTRO	126,683	133,582	10.54
Z.M.C.M.	2,398	121,550	507.30
PACIFICO SUR	233,045	19,890	0.85
PENINSULAR	166,184	19,585	1.17
TOTAL	2,039,988	703,033	3.45*

FUENTE: SEMIP, 1986.

*Promedio nacional.

En la figura anterior se observa que la Z.M.C.M. con un área de 2396 Km² tiene un consumo de energía de 121.550 X 10¹² Kcal/año y al mismo tiempo de 507.3 X 10⁶ Kcal/Km², lo cual refleja un exceso de consumo de energía en las diferentes actividades que provocan la emisión de contaminantes, por lo cual conviene ubicar en el lugar correcto a la industria dentro de las actividades mencionadas. Sin tratar de exonerar a nadie de sus responsabilidades ambientales.

El primer criterio es analizar los distintos sectores que emiten contaminantes considerando el peso y la toxicidad.

Es importante resaltar que el rubro de transportes contribuye con más de las tres cuartas partes del total, la industria, por otro lado sólo aporta el 3.6%.*

INVENTARIO DE EMISIONES POR SECTOR PORCENTAJES EN PESO

SECTOR	SO ₂	NO _x	HC	CO	PST	TOTAL
ENERGIA	35.5	5.6	5.6	1.8	1.0	4.0
INDUSTRIA	31.8	18.5	7.0	0.6	2.3	3.6
SERVICIOS	11.0	2.0	0.0	0.0	0.5	0.8
TRANSP	21.8	75.4	52.5	96.7	2.1	76.7
DEGR. ECOL.	0.1	0.6	34.9	0.9	94.0	15.0
TOTALES	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica; Secretariado Técnico Intergubernamental

**INVENTARIO DE EMISIONES POR SECTOR
PONDERADO POR TOXICIDAD**

Porcentajes

SECTOR	SO2	NOx	HC	CO	PST	TOTAL
ENERGIA	7.2	1.1	1.3	0.2	1.0	10.8
INDUSTRIA	6.4	3.3	1.7	0.0	2.3	13.7
SERVICIOS	2.2	0.4	0.0	0.0	0.5	3.2
TRANSP	4.4	14.9	12.6	8.4	2.1	42.4
DEGR. ECOL.	0.0	0.1	8.4	0.1	21.3	29.9
TOTALES	20.2	19.8	23.9	8.7	27.3	100.0

Fuente: Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica; Secretariado Técnico Intergubernamental.

Salta a la vista la escasa participación de la industria dentro de las emisiones totales que se generan, sin embargo, debe señalarse que el aporte de la industria, aumenta al observarse que el grado de toxicidad va del 5.6 al 13.7 %, al comparar con los índices por peso.

Por lo mencionado se infiere que los efectos de la contaminación dependen a su vez de las concentraciones, la frecuencia y el tiempo de exposición, por lo cual se cuenta con una norma para determinar la calidad del aire en la Ciudad de México, la cual consiste y se maneja de la siguiente forma :

Con base a la información generada por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A.), la SEDUE emitía diariamente un

reporte sobre la calidad del aire en la forma del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (I.M.E.C.A.), el cual describe numéricamente los niveles de la contaminación. La determinación del IMECA se realiza a través de promedios de horarios y de valores de referencia que se describen en la siguiente sección :

a) Normas y parámetros establecidos para la calidad del aire.

Varios países desarrollan políticas de control ambiental con base en normas o criterios de calidad del aire.

Estos establecen las concentraciones máximas permisibles de contaminantes para asegurar la protección de la salud y el bienestar de la población. En México, éstos parámetros poseen la categoría de criterios de evaluación de la calidad del aire¹; dichos criterios son en general, los siguientes :

CRITERIOS DE EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE.

CONTAMINANTE	TIEMPO DE* PROMEDIO	CONCENTRACION LIMITE
DIOXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	24 HORAS	0.13 ppm
MONOXIDO DE CARBONO (CO)	8 HORAS	13 ppm
OZONO (O ₃)	1 HORA	0.11 ppm
DIOXIDO DE NITROGENO (NO ₂)	1 HORA	0.21 ppm
PLOMO (Pb) ^{**}	3 MESES	1.8 µg/m ³
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST)	24 HORAS	275 µg/m ³
PARTICULAS SUSPENDIDAS MENORES A 10 µm (PM10) ^{**}	24 HORAS	150 µg/m ³

NOTAS:

- 1 LOS CRITERIOS DE EVALUACION DE MEXICO NO ESPECIFICAN LA FRECUENCIA ANUAL CON QUE PUDEN ACEPTARSE QUE SE EXCEDA EL LIMITE.
- 2 LOS CRITERIOS DE EVALUACION DE PLOMO Y DE PARTICULAS MENORES A 10 MICROMETROS NO SON OFICIALES

Se han establecido valores IMECA que corresponden a la norma establecida para cada contaminante; un valor IMECA de 100 puntos corresponde a la concentración permitida para considerar que no existen evidencias de daños significativos a la salud.

Con base en referencias numéricas preestablecidas para cada 100 unidades, la escala IMECA se define conforme a los siguientes criterios y concentraciones..

CONCENTRACIONES LIMITE DE LA ESCALA IMECA
Y CRITERIOS DE CALIFICACION.

		CONTAMINANTE Y TIEMPO PROMEDIO					
IMECA	CALIDAD DEL AIRE	PST (24 hrs)	PM10 (24 hrs)	SO2 (24 hrs)	NO2 (1 hora)	CO (8 hrs)	O3 (1 hora)
0-100	Satisfactoria	275 µg/m ³	150 µg/m ³	0.13 ppm	0.21 ppm	13 ppm	0.11 ppm
100-200	No satisfactoria	546 µg/m ³	350 µg/m ³	0.35 ppm	0.66 ppm	22 ppm	0.23 ppm
200-300	Mala	637 µg/m ³	420 µg/m ³	0.56 ppm	1.10 ppm	31 ppm	0.35 ppm
300-500	Muy mala	1000 µg/m ³	600 µg/m ³	1.00 ppm	2.00 ppm	50 ppm	0.60 ppm

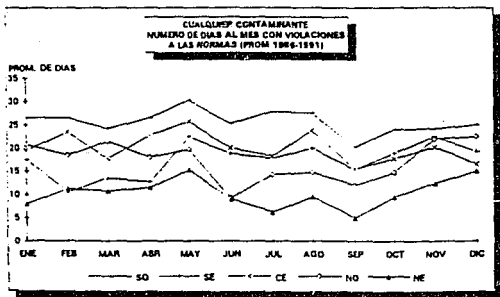
b) Variación de la concentración de contaminantes en la zonas del Distrito Federal.

Si se suponen emisiones totales constantes a lo largo del año, la variación estacional de los niveles de contaminación depende de las condiciones meteorológicas y climáticas

prevalecientes en cada temporada. En esta sección se presenta un análisis basado en el número de días con excedencias a los criterios de la calidad del aire en cualquier parte de la ciudad entre 1988 y 1991. Estos datos reflejan la estacionalidad del fenómeno a partir de la comparación entre los distintos meses del año. Para obviar las limitaciones de este enfoque (que soslaya los picos de concentración alcanzados), el análisis se complementa con información sobre los promedios de los registros máximos observados. Cabe adelantar que aunque generalmente se considera al invierno como la época más crítica del año, de acuerdo a los datos presentados esto no es generalizable a todos los contaminantes y a las diferentes zonas de la ciudad.

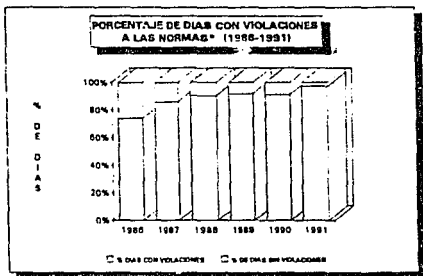
Con objeto de ilustrar globalmente la variabilidad estacional de la calidad del aire (a lo largo del año), en la gráfica que sigue se presenta el promedio de días al mes, entre 1986 y 1991, en los que se registró una puntuación IMECA mayor a 100 puntos. Tal valor IMECA corresponde a las situaciones en las que se violó, al menos una vez durante el día, la norma de calidad del aire de alguno de los cinco contaminantes reglamentados en cualquiera de las cinco zonas. Se observa que las violaciones a las normas ocurren durante todo el año pero con variaciones temporales. Prácticamente en toda la ciudad, se alcanza un máximo de días con violaciones durante el mes de Mayo, lo cual puede atribuirse a

temperaturas relativamente altas, intensa radiación solar y otros factores climáticos que propician una mayor reactividad fotoquímica de la atmósfera. El mes que presenta el menor número de excedencias es Septiembre. La única excepción a éste patrón está representada por la zona sureste, que presenta menos días por encima de sus niveles durante Febrero, Abril y Marzo; con un punto máximo en el mes de Noviembre.



c) Violaciones a las normas y máximos registrados por contaminante.

Si se observa el número total de violaciones a las normas, entre 1986 y 1991, la calidad del aire de la ciudad de México parece mostrar una tendencia al deterioro.



Cuando el número de días con niveles superiores a los 100 IMECA es prácticamente el 100 %, ese parámetro pierde utilidad para analizar las situaciones y tendencias. Es por ello que se requiere aumentar la escala de análisis. En la siguiente tabla

se puede observar el número de días al año en que se rebasa los 200 puntos desde 1988 a 1991.

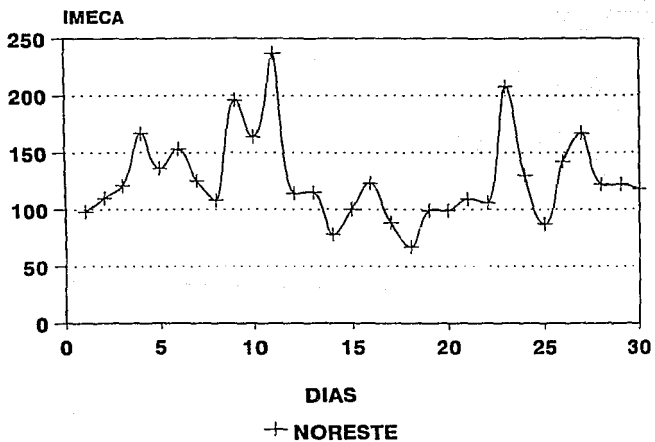
AÑO	DIAS
1988	67
1989	19
1990	86
1991	192

Como se observan, durante 1991 hubo un notable deterioro de la calidad del aire con relación a los años anteriores, utilizando éste parámetro de comparación. Hay que hacer notar que la mayor parte de los días en que se excede el nivel de los 200 IMECA el ozono es el contaminante responsable; aunque las partículas también rebasan éste umbral en casi todas las ocasiones en que son medidas en la zona noreste.

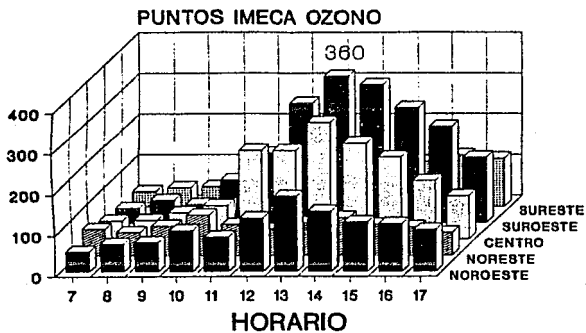
En las siguientes gráficas se muestra la variación de los contaminantes en la ZMCM para el mes y días críticos de 1992.

VARIACION DE OZONO

MARZO 92



INDICE DE CONTAMINACION CIUDAD DE MEXICO



21 de Marzo de 1992

CAPITULO II. Efectos de los contaminantes.

Se tiene conocimiento que la contaminación es perjudicial desde la época de la Edad Media y pruebas más concretas de los malos efectos del aire contaminado empezaron a darse después del primer empleo del carbón, que fue alrededor de principios de siglo XIV.

Sin embargo, solamente en los últimos decenios ha empezado a percatarse de la extensión y complejidad de los efectos de la contaminación del aire.

Los efectos se pueden clasificar en las siguientes divisiones:

- a) Efectos directos sobre el hombre.
- b) Daños causados a los vegetales.
- c) Daños causados a los animales.
- d) Deterioro de materiales.

2.1 Efectos directos sobre el hombre.

Estos efectos sobre la salud pueden adoptar diversas formas:

- a) Enfermedad aguda, susceptible de causar la muerte.
- b) Enfermedad crónica, como bronquitis crónica, enfisema pulmonar

o asma cuyas enfermedades pueden ser causadas por una combinación de contaminantes.

c) Síntomas desfavorables generales e irritaciones, como estado nervioso afectado, irritaciones de ojos y piel y molestias a olores ofensivos.

Uno de los mecanismos por los cuales los contaminantes afectan al cuerpo humano es a través del sistema respiratorio, este puede dividirse en sistema respiratorio superior formado por el conducto nasal y la tráquea, el sistema respiratorio inferior, integrado por los tubos bronquiales y los pulmones.

En la entrada de los pulmones, la tráquea se divide en dos árboles bronquiales los cuales se ramifican hasta tener diámetros reducidos de aproximadamente 0.05 cm llamados bronquiolos, en cada extremidad de los bronquiolos se encuentran cavidades conocidas como alveolos y a través de las membranas alveolares el oxígeno del aire se difunde hasta los vasos capilares de los pulmones, mientras que el bióxido de carbono se difunde en sentido contrario.

Se tiene que los alveolos son de aproximadamente de 0.02 cm de diámetro, pero existen millones de alveolos en el pulmón que proporciona una superficie de transferencia de gas de unos 50 m².

Dado con la protección con que cuenta en el sistema respiratorio superior así como en la entrada de los pulmones, la

dimensión de las partículas que llegan ha entrar a los bronquios son menores a $1 \mu\text{m}$ (micra), dichas partículas se depositan en las bifurcaciones del árbol bronquial.

Las partículas de radio igual a $0.1 \mu\text{m}$ son las que directamente llegan a las paredes de los bronquios, entonces las partículas de CO, NO₂ o de O₃ con éstas dimensiones además de que son insolubles pueden penetrar profundamente hasta el pulmón llegando hasta las cavidades alveolares.

Una vez que se sabe el mecanismo por el cual los contaminantes entran al cuerpo humano, se hará un análisis de cada contaminante y sus consecuencias, los principales contaminantes son los siguientes:

Monóxido de Carbono.

Los efectos causados por el monóxido de carbono vienen reflejadas en la capacidad de la sangre para transportar oxígeno. Durante su funcionamiento normal, las moléculas de hemoglobina contenidas en los glóbulos rojos de la sangre transportan oxígeno para ser cambiado por el bióxido de carbono en los vasos capilares que unen las arterias y venas.

El monóxido de carbono es relativamente insoluble y llega fácilmente a los alveolos junto con el oxígeno, el CO se difunde a través de las paredes alveolares y compite con el oxígeno por uno de los cuatro átomos de hierro de la molécula de la hemoglobina.

La afinidad del átomo de hierro por el CO es 200 veces mayor que por el O₂ por lo que se considera una enorme ventaja por la competición de las moléculas de hemoglobina.

Cuando una molécula de hemoglobina adquiere una molécula de CO se convierte en carboxihemoglobina (COHb) disminuyendo la capacidad total de la sangre de llevar oxígeno a las células.

Los síntomas por envenenamiento de CO depende de la cantidad de hemoglobina combinada con CO. La figura 6 resume los efectos causados por la exposición al CO con el tiempo los cuales pueden traducirse en desoxigenación celular, trastornos cardiovasculares y disfunción psicomotora.

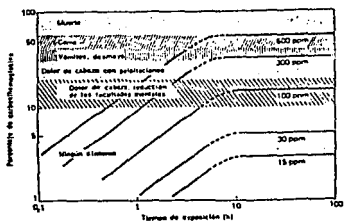


Fig 6

Dióxido de Azufre.

Es altamente soluble y como consecuencia es absorbido por los conductos húmedos del sistema respiratorio superior.

Exposición a niveles de SO_2 del orden de 1 ppm (partes por millón) producen la constricción de las vías respiratorias.

Con la presencia de partículas en el aire la reacción irritante provocada por el SO_2 se triplica debido a que dichas partículas en suspensión transportan al SO_2 hasta el fondo de los pulmones. Algunas consecuencias son bronquitis crónica y cáncer en el sistema respiratorio, la figura 7 resume los efectos a varias dosis de SO_2 .

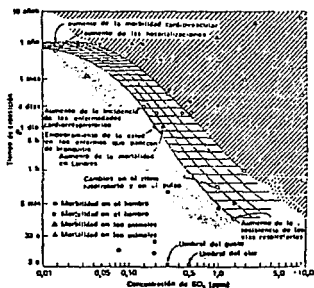


Fig. 7

Bióxido de Nitrógeno.

El NO₂ se transforma en los pulmones en nitrosaminas, entre las cuales algunas pueden ser cancerígenas. Además el NO₂ puede pasar a la sangre donde forma un compuesto llamado metahemoglobina.

El Bióxido de Nitrógeno irrita los alveolos produciendo síntomas parecidos a los provocados por los enfisemas tras una exposición prolongada a concentraciones del orden de 1 ppm .

Plomo.

Impide la realización de varias etapas de la formación de hemoglobina. Según la vía de penetración en el cuerpo, hasta un 60% de todo el plomo ingerido puede ser retenido por el cuerpo en forma permanente.

Se acumula en la sangre al ingerirse o inhalarse así como en huesos y tejidos suaves, no se excreta rápidamente, por lo que afecta al sistema nervioso y a la producción de sangre, en altas cantidades, presenta problemas neurológicos, retardo menstrual y problemas de conducta.

Oxidantes Fotoquímicos.

Uno de los principales componentes de este grupo es el ozono el cual sólo en una concentración de 0.1 ppm puede afectar de manera significativa la capacidad pulmonar, así como provocar el envejecimiento acelerado de los tejidos pulmonares por oxidación de ciertos compuestos en las proteínas.

El ozono no permite a las plantas verdes llevar a cabo el proceso de fotosíntesis, irrita ojos y garganta y disminuye la capacidad para realizar ejercicios físicos.

Un efecto generalizado del smog fotoquímico es la irritación de ojos, entre los compuestos conocidos como irritantes los cuales se encuentran en el smog fotoquímico, están el formaldehído (HCHO), la acroleína (CH₂CHCHO) y algunos miembros de la familia de los nitratos de peroxiacilo, entre los cuales figuran el nitrato de peroxiacilo (PAN) y en nitrato de peroxibenzoilo (PBZN)

2.2 Daños causados a los vegetales.

Los daños en las plantas por la contaminación atmosférica ocurren en la superficie de la hoja, hasta toda su estructura interior en toda la planta.

La hoja típicamente puede ser dividida en tres regiones, la epidermis forma la capa protectora exterior, es la parte central de la hoja la cual cuenta con dos capas de células llamadas palizada y la esponja del parenquima.

También cuenta con una densa red de venas que corren por todas las partes de la hoja desde la base hasta el tallo. Las venas forman un sistema de transporte de agua y otros químicos que son transferidos en todas las partes de la planta.

Se sabe ahora que hay una gran diversidad de daños causados a

las plantas por los contaminantes del aire, por ejemplo, todos los fluoruros resultan actuar como venenos acumulativos para las plantas, causando el deterioro del tejido de las hojas.

El smog fotoquímico (oxidante) blanquea y vitrifica algunas plantas como espinacas, lechugas, cardo, alfalfa, etc.

Los efectos del ozono en la vegetación se conocen desde los años 50's, el primer ataque ocurre en la palizada región de la mesophyll. La estructura de las células se destruye y aparecen unos pigmentos de color café rojizo en la superficie de la hoja.

Las coníferas pasan a un color café y posteriormente mueren, las espinacas, habichuelas, tomates y pinos blancos son especialmente sensitivos. Un gran número de pinos se muestran morobundos como resultado de una exposición prolongada a los oxidantes fotoquímicos.

El comienzo de daños se estima alrededor de 0.03 ppm (50 mg/m³) en cuatro horas de exposición.

Daños a las plantas antes mencionadas se observan con una concentración de 0.1 ppm o menos en un período de tiempo de una a ocho horas. El retardo de desarrollo de algunos cítricos se atribuye principalmente al ozono.

El etileno, hidrocarburo que se encuentra en los gases de escape de los automóviles y de motores diesel, hace que los pétalos de flores se encrespen hacia adentro además de que los

descolora y seca sus pétalos. Dichos daños del etileno se presentan con 0.001 a 0.5 ppm y en general los daños comienzan con 0.05 ppm en 6 horas de exposición el cual es un reporte bueno a seguir.

Otros gases como cloruro de hidrógeno, cloro, sulfuro de hidrógeno y amonio así como otros pueden causar daños severos a la textura de la hoja cuando la planta es expuesta a grandes niveles como 1 ppm . Afortunadamente éstos niveles suelen llegar en contadas ocasiones en tiempos largos.

PAN (Nitrato de peroxiacilo)

Ataca las celdas de la esponja de parénquima rodeando el espacio de aire dentro del cual el estoma se abre; el principal efecto visible es el color plateado o bronceado en el área baja de la hoja. La concentración para el comienzo de los daños se estima de 0.01 ppm a 6 horas de exposición.

Fluoruro de hidrógeno.

El fluoruro actúa como un veneno acumulativo para la planta. Así cuando se expone a concentraciones relativamente bajas, la planta eventualmente acumulará bastante para dañar la textura de la hoja.

Aparentemente el fluoruro entra a través del estoma y es transportado hacia la punta por medio del flujo de agua.

Eventualmente se destruyen las células internas, después la

destrucción y secamiento de las mismas, el área dañada se torna muy café hasta que se quema.

Estos daños comienzan con bajas concentraciones como 0.1 ppb (partes por billón, 0.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) bajo 4 a 5 semanas de tiempo.

Concentraciones del orden de 1 ppb son significativas.

Dióxido de sulfuro.

Los efectos de los excesivos niveles de SO_2 en la atmósfera aparecen primero en daños en las células de la esponja de parénquima en el área del mesófilo, seguida de daños en la región de la palizada.

El ataque inicial en la hoja aparece con el agua succionada, después de secarse; en las áreas afectadas aparecen colores blanquicos o marfilados.

El SO_2 entra a los estomas directamente y a las células de la planta en el mesófilo, entra en forma de sulfito y ya dentro de las células se convierte en sulfatos.

Aparentemente cuando es excesivo el SO_2 en las células, éstos no son capaces de convertir sulfito en sulfato fácilmente y el rompimiento de la estructura de la célula comienza. Como ejemplo se tiene, espinacas, lechuga y otras hojas son las sensitivas a tales efectos. Los daños comienzan con un valor de 0.3 ppm (775 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) expuestos a 8 hrs. aproximadamente, concentraciones de 0.3 a 0.5 ppm en días severos pueden dañar a la planta internamente hasta acabar con ella.

2.3 Daños causados a los animales.

Uno de los efectos más importantes es el envenenamiento del ganado por fluoruros y arsénicos. El efecto del fluoruro, que es más grave, proviene de la precipitación de diversos compuestos de fluoruro sobre el forraje. La ingestión de estos contaminantes por el ganado produce una calcificación anormal de los huesos y los dientes llamada fluorosis, que se traduce en pérdidas de peso cojera.

El envenenamiento por el arsénico que es menos corriente, ha sido transmitido por gases contaminados cerca de algunas fundiciones.

2.4 Deterioro de los materiales.

Los contaminantes acidificadores son los causantes de muchos efectos perjudiciales, tales como la corrosión de metales y el debilitamiento o la desintegración de textiles, papel y mármol.

El sulfuro de hidrógeno, H_2S , empaña la planta y ennegrece las pinturas a base de plomo de los interiores. El ozono, produce grietas en el caucho. Los contaminantes de partículas, arrastradas a grandes velocidades por el viento, producen una erosión destructiva de superficies de las construcciones.

CAPITULO III. Medidas y equipos utilizados en el control de contaminantes.

3.1 Medidas y planes considerados para la reducción de contaminantes atmosféricos.

La contaminación atmosférica es un fenómeno que responde a múltiples factores, lo que hace compleja una gestión exitosa de la política ambiental.

En general, las alternativas de acción de una política de gestión de la calidad del aire pueden abarcar los siguientes puntos; el mejoramiento de la calidad de los combustibles que se utilizan, la racionalización y reestructuración del transporte urbano, la modernización de las tecnologías de producción y la instalación de sistemas de control de emisiones vehiculares e industriales, la prohibición al establecimiento de nuevas actividades contaminantes y la reubicación de las existentes; el rescate, protección y recuperación de áreas ecológicas sensibles o deterioradas, el control y disposición de desechos sólidos e introducción de drenaje; y la educación, comunicación y participación ciudadana.

Todas estas alternativas se consideran en los diferentes sectores de actividad causantes de la contaminación y se aplican

en función de su pertinencia tecnológica, económica e impacto en la reducción de emisiones.

La ciudadanía impone a todos los sectores sus demandas, requiriéndoles no sólo contribuciones sino resultados que le garanticen una vida digna y sin riesgos a la salud.

Por lo anterior, se busca que cada quién, contribuya con su esfuerzo para frenar el crecimiento de la contaminación en el Valle de México según las emisiones que genere y su grado de toxicidad. El compromiso fundamental de éste programa, es que nadie diga que no, al esfuerzo que le corresponde.

Los compromisos se identifican alrededor de los causantes de la contaminación y las áreas prioritarias de acción:

a) La Industria Petrolera, en sus aspectos de refinación, distribución y calidad de combustibles.

Las medidas necesarias para alcanzar éstos compromisos se agrupan en las siguientes acciones:

- 1) Elaboración de gasolinas de calidad ecológica internacional.
- 2) Elaboración de diesel con bajo contenido de azufre
- 3) Elaboración de combustóleo con bajo contenido de azufre.
- 4) Elaboración de los compuestos oxigenados TAME y MTBE.
- 5) Suministro de gasolina sin plomo a los vehículos 1991 y

con convertidor catalítico.

6) Continuar con el suministro de gasolinas oxigenadas en la Zona Metropolitana de la Cd. de México.

7) Instalación de membranas flotantes en los tanques de almacenamiento de combustibles.

8) Instalación de equipos para la recuperación de vapores en terminales de recibo y distribución de combustibles y gasolineras.

b) El Transporte, en sus modalidades de carga, colectivo e individual, tanto en su eficiencia urbana y ambiental, como en su avance tecnológico; racional aprovechamiento energético y control de emisiones contaminantes.

Las acciones tomadas se mencionan a continuación:

1) Instalación de convertidores catalíticos en todos los vehículos a gasolina modelo 1991.

2) Ampliación del metro.

3) Renovación de R-100 con 3500 unidades de baja emisión de contaminantes.

4) Reordenación y ampliación del Sistema del Transporte Eléctrico.

5) Mejoramiento de vialidades, estacionamientos, semaforización y coordinación de modos de transporte.

6) Autorización de Rutas de Autobuses para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte institucional, de escolares y empleados.

7) Continuación del programa HOY NO CIRCUJA.

8) Plan de contingencias ambientales, en sus tres niveles.

9) Ampliación del programa de verificación obligatoria de vehículos a gasolina, diesel y gas L.P.

10) Reconversión de flotillas de camiones de carga de gasolina a gas L.P., incorporando convertidores catalíticos.

11) Instalación de convertidores catalíticos en microbuses.

12) Sustitución de gasolina por gas L.P. en camiones distribuidores de carga en el Valle de México.

c) La Industria Privada y los Establecimientos de Servicios; en su modernización tecnológica y productiva, así como en su eficiencia energética y control de emisiones contaminantes.

En este programa, los sectores, industrial, de servicios y giros mercantiles se comprometen a:

1) Cambio de combustóleo por gas natural en industrias.

2) Convenios con la industria para control de emisiones.

3) Racionalización de abasto de materiales y bienes en la Cd.

4) Control de emisiones y reubicación de fundidoras.

5) Realización de monitoreos continuos en las industrias más contaminantes.

b) Mejoramiento de procesos de combustión e instalación de equipos de control en establecimientos de servicio.

d) Termoeléctricas. Por ser las mayores consumidoras de combustible en la ciudad.

Los compromisos de la C.F.E. en este campo son:

1) Utilización de gas natural hasta no contar con combustóleo de bajo contenido de azufre.

2) Suspensión invernal en la operación de dos unidades de generación.

3) Instalación de monitores continuos de emisiones en las centrales termoeléctricas.

e) Reforestación y Restauración Ecológica, de los suelos deforestados, zonas de drenaje, reservas ecológicas ocupadas y tiraderos a cielo abierto.

El compromiso asumido en éste rubro abarca:

1) Programa de reforestación urbana.

2) Reforestación del Valle de México y su área de influencia ecológica.

f) Investigación, Educación Ecológica y Comunicación Social, por las entidades a cargo del monitoreo de la calidad del aire, de

la investigación y de la comunicación social. Las medidas comprometidas en este campo de acción son las siguientes:

1) Programa de pruebas de dispositivos anticontaminantes y combustibles alternos en vehículos automotores.

2) Instalación de laboratorios de control de calidad de combustibles.

3) Ampliación y reforzamiento de la Red Automática de Monitoreo Atmosférica (RAMA).

4) Desarrollo del Estudio Global de la Calidad del Aire (EGCA).

5) Instrumentación del sistema de vigilancia epidemiológica de la Zona Metropolitana de la Cd. de México.

6) Relación permanente con Universidades y Centros de Investigación.

7) Capacitación de maestros y formación de los niños.

8) Programas de formación profesional y capacitación.

3.2 Equipos absorbedores de partículas.

La elección del equipo para retener partículas se complica debido a la cantidad y calidad del gas que las arrastra, por variables de los procesos como la operación continua o intermitente, cambio de la cantidad del gas, de la carga de polvo o de contenido de humedad y otras variables como los cambios

estacionales, la producción de hollín y las alteraciones de los procesos industriales.

Los principios generales que se aplican a todos los colectores prácticos de partículas son los siguientes:

a) Limpian el gas eliminando continuamente el polvo de una corriente de gas en movimiento.

b) El tamaño del colector y su costo son directamente proporcionales a la cantidad de gases que tienen que limpiar.

c) La eficiencia de recolección se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula y se expresa en por ciento.

$$\% \text{ de eficiencia de recolección} = ((PPE - PPS) / (PPE)) \times 100$$

donde

PPE : peso del polvo que entra.

PPS : peso del polvo que sale.

d) Para todos los tipos de colectores de partículas el polvo fino es más difícil de separar que el grueso y esto repercute directamente en la eficiencia del recolector.

Como equipos de retención de partículas se tienen los siguientes:

Colectores Mecánicos.

1.- Cámara de sedimentación por gravedad.

Este colector disminuye la velocidad de la corriente capaz de transportar el polvo a una de asentamiento del mismo, durante un

periodo suficiente de tiempo para que el polvo más pesado pueda depositarse por el efecto de la gravedad en las tolvas de donde se extrae periódicamente.

La desventaja de este tipo de aparato es su eficiencia muy baja para coleccionar polvos finos, esta característica reduce el uso de la cámara de sedimentación por gravedad a la de un predepurador.

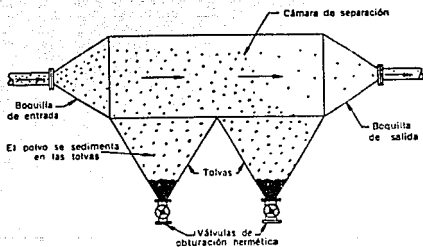


fig.3

2.- Colector de recirculación con desviador de flujo.

En este tipo de colector se introduce el gas que se va a limpiar a alta velocidad por debajo de un desviador horizontal hecho de varillas separadas entre sí.

Para pasar por estos intersticios y llegar a la salida del aire limpio, la corriente de aire sucio tiene que dar una vuelta a

gran velocidad. El bajo peso específico del gas le permite dar esta vuelta con facilidad. El polvo, por ser más pesado, arrastrado por la inercia, no puede dar esa vuelta brusca y es detenido por debajo de la placa desviadora hasta que es capturado por la abertura para polvo. Al expandirse esta abertura, el polvo circula a menor velocidad y cae por la ranura para el polvo sobre la tolva del colector la que se sedimenta como en una cámara de sedimentación.

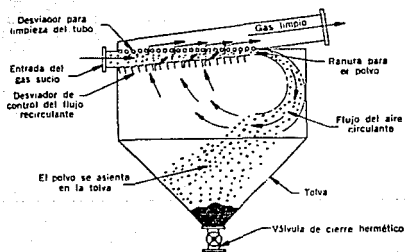


fig.9

3.- Ciclones de gran eficiencia.

Separan la materia particulada del gas que la transporta transformando la velocidad de la corriente que entra en un remolino exterior descendente y otro remolino interior ascendente,

ambos en el interior del cilindro superior y del cono inferior del ciclón. El remolino descendente que gira a gran velocidad envía por fuerza centrífuga el polvo por ser más pesado contra las paredes del ciclón y lo lanza al interior de la tolva de la cual se extrae periódicamente. El remolino ascendente de gas limpio que procede en toda su longitud de la parte interna del remolino descendente, abandona el ciclón por el tubo de escape que se encuentra en la parte superior del cilindro.

El patrón de flujo en el interior del ciclón puede ser sencillo o complejo de acuerdo a muchas variables: el tipo de entrada, las proporciones dimensionales y la inclusión o exclusión de un educador para partículas muy finas o la interposición de placas desviadoras.

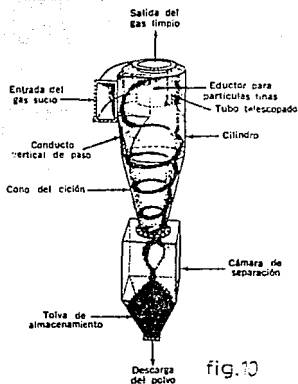


fig. 10

Debido a su sencillez, confiabilidad y gran eficiencia, el colector de ciclón se ha utilizado en diferentes tipos o modelos durante los últimos cien años. A continuación se mencionarán los tres tipos principales de ciclones.

a) Ciclón axial de placas y diámetro pequeño.

La fig. 11 presenta un colector típico de este tipo el cual consta de veinticinco ciclones colocados en un mismo recipiente que tiene una entrada común, una salida común para el aire limpio y una tolva común para almacenar el polvo.

En este colector, los ciclones individuales están ordenados en cinco filas de cinco ciclones cada una. En este arreglo característico el gas sucio penetra por la entrada común para el gas sucio a la cámara de gas sucio, de la cual es enviado hacia abajo para alimentar los ciclones individuales.

El giro ciclónico lo imparten al gas descendente las placas interpuestas que hacen que el gas y el polvo bajen formando una espiral en el remolino descendente externo.

Las fuerzas centrífugas generadas por la alta velocidad del giro empujan el polvo hacia las orillas y lo mantienen contra la pared del cilindro y del cono hasta que es expulsado radialmente hacia afuera por la salida del polvo hasta la tolva de almacenamiento del mismo. El remolino interno ascendente de aire limpio empieza por debajo de la salida del polvo y es alimentado

en toda su longitud por la cara interna del remolino descendente, finalmente el gas limpio de cada ciclón es extraído y conducido a través de la cámara de gas sucio a la de gas limpio por los tubos telescopados que captan el remolino.

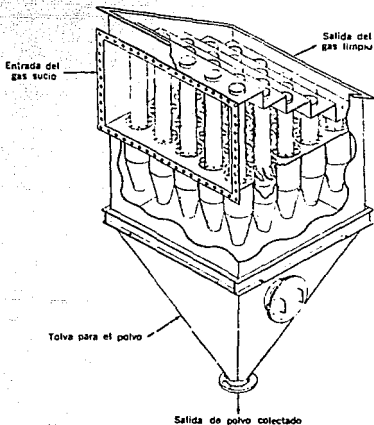


fig.11

b) Ciclón de gran diámetro con entrada enrollada.

La fig. 12 presenta un colector típico que consta de cuatro ciclones ordenados paralelamente, de tal modo que cada ciclón se encarga de un 25 % del flujo total de gas. Para simplificar los conductos conectantes y para asegurar un flujo balanceado en los cuatro ciclones, están colocados en dos filas, de dos, con las cuatro entradas agrupadas entre sí mediante un conducto de unión. Los cuatro ciclones descargan el polvo en una tolva común y el gas limpio pasa a una cámara superior de salida común, de la cual va por una sola salida situada en la parte posterior, a un lado o en la parte de arriba de la cámara de salida, según convenga para la instalación.

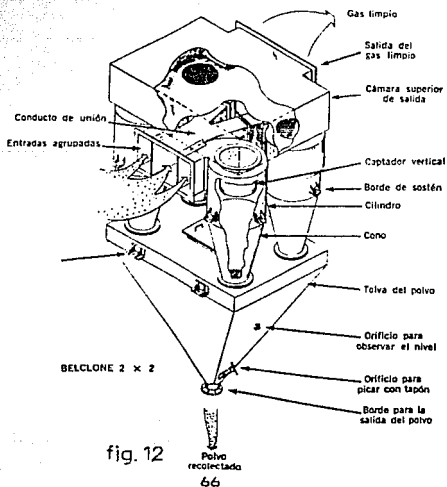


fig. 12

c) Ciclón de diámetro grande que tiene entrada enrollada y eductor para partículas finas.

La fig.13 presenta un ciclón de este tipo, en el cual las partes principales están indicadas. El patrón de flujo es semejante al del ciclón estandar de entrada de enrollamiento, excepto en que se añade un eductor de partículas muy finas en la parte superior del cilindro para eliminar continuamente las partículas de polvo más finas que tiende a ser atrapadas por el remolino superior.

Estas partículas se eliminan del cilindro y son transportadas por un conducto de derivación en espiral al inyector de partículas finas, donde se combinan con las más gruesas en el nivel donde se unen al cilindro y el cono.

Esta característica mejora la eficiencia colectora sin aumentar la pérdida de carga. La eficiencia es mejorada por dos razones :

a) La adición del remolino superior equilibra el remolino inferior de modo que se uniforma el patrón de flujo interno.

b) Al eliminar las partículas finas de la parte superior del cilindro y reinyectarlas en la corriente de las más gruesas, aumenta su captura y evita un acarreo posterior.

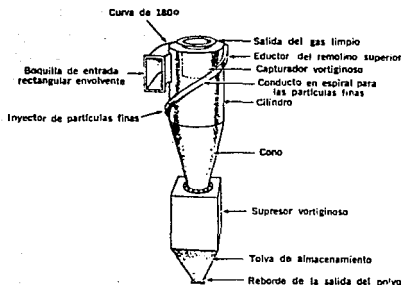


fig.13

Otros tipos de colectores mecánicos.

A continuación se mencionan otros tipos de colectores de aplicación limitada pero que todavía se usan.

a) Colector por rebabas y cenizas.

Combina la sedimentación por gravedad con la separación por inercia resultante de la interposición de una o varias placas desviadoras. Son trampas muy útiles para recoger partículas muy grandes o para proteger a un colector más eficaz de dichas partículas.

b) Separador de persiana.

Es una variante del colector de desviador recirculante e incluye una cámara con paredes de persiana en forma de V y otra cónica. Algunos aumentan la eficiencia colectora por medio de un colector de ciclón en el circuito recirculante. Su eficiencia colectora es intermedia entre la del colector de desviador y el usual de ciclón.

c) Precipitador dinámico.

Es una combinación del ventilador centrífugo y el colector de polvo. Como muchas combinaciones de dispositivos no sobresale en ninguna de sus funciones pero tiene la ventaja de ser pequeño y de bajo costo inicial.

d) Separador centrífugo de inercia.

Es una variante del ciclón axial de placas en el que el remolino externo y el interno fluyen en la misma dirección horizontal. Aunque es de una eficiencia colectora menor, tiene la ventaja del flujo directo y a menudo se puede instalar en una sección transversal de un conducto existente.

e) Ciclón húmedo.

Es de diámetro grande en que la captura y retención de las partículas aumenta al rociar en la entrada un líquido, por ejemplo, agua. Esta pulverización es capturada al igual que el polvo y humedece las paredes del ciclón. Esta técnica se usa a

veces para conservar la temperatura del ciclón entre los límites adecuados al diseño estructural cuando hay que limpiar gases muy calientes.

f) Colector ciclónico de gotitas.

Como las gotitas precipitadas por fuerza centrífuga, forman una película continua húmeda, se logran eficiencias buenas con gastos moderados de energía y son prácticos para colectores especialmente diseñados para gotas pequeñas.

Filtros de tejido.

Principio de funcionamiento.

Uno de los colectores de más aplicaciones para la eliminación de partículas secas y sólidas de una corriente de aire o gas es el de filtro de material tejido, en el que el gas que se transporta el polvo pasa en una sola dirección a través de algún tipo de filtro de un paño tejido o de filtro.

Aunque los filtros de materiales tejidos son de géneros muy diferentes todos funcionan atrapando el polvo en el lado de la tela por donde llega el aire sucio y permitiendo al gas que pase por los intersticios entre las hebras tejidas de la tela.

Esta capacidad del filtro del tejido para recoger polvo fino es el resultado directo de la aglomeración de una capa frágil y porosa de polvo en el lado de la tela por donde entra el aire

sucio. Esta capa, denominada torta de filtro, bloquea los intersticios más grandes y atrapa a las partículas más finas.

Tipos fundamentales de filtros de tela.

De la infinita variedad de filtro de tela, los siguientes son los que tienen mayor aplicación comercial :

a) Cámara intermitente de filtros con limpieza a mano o por aplicación de energía.

Es el más antiguo y sencillo de todos los filtros de tela, en la fig.14 se observa que la cámara intermitente de filtros de bolsa consiste en un recipiente dividido en una parte superior y otra inferior por una chapa para tubería.

En la parte superior está el filtro de material tejido que puede estar formado por uno o varios tubos o tener formas diferentes todas ellas diseñadas para proporcionar suficiente superficie de filtración en el espacio disponible, la porción inferior puede estar formada por una o más tolvas piramidales o si el recipiente es largo puede haber una sola tolva a todo lo largo del mismo.

En condiciones normales de funcionamiento, el gas sucio se introduce por debajo de la chapa y en la parte superior de la tolva. Como la velocidad del gas disminuye a la entrada, las partículas gruesas de polvo se sedimentan directamente en la

tolva, mientras que las partículas más finas y todo el gas pasarán hacia arriba por el interior de los tubos de tela. El gas saldrá a través de las paredes de la tela mientras el polvo queda atrapado en el interior del tubo de la tela. El gas limpio se reúne en la capa y es descargado en un conducto que va a dar al ventilador

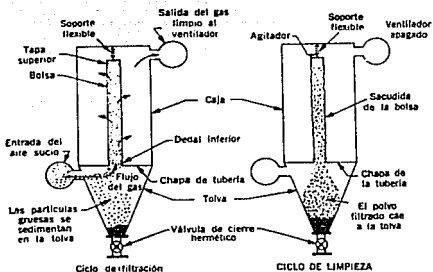


fig.14

b) Cámara de filtros convencional automática con agitación mecánica.

Como se muestra en la fig.15, esta cámara de filtros consiste en una cubierta o caja dividida en una porción superior y otra inferior para una chapa de tubería. La parte superior contiene las bolsas tubulares tejidas y la porción inferior consiste de tolvas

piramidales, cada una con su válvula, o una sola tolva larga con un conducto sellado de tornillo sinfin. Aunque en la figura sólo se presenta una bolsa, cada compartimiento generalmente contiene varias bolsas por lo cual se dice que es un colector de varios compartimientos, en el que cada uno tiene su propia tolva ; el gas se introduce en cada tolva individual a través de un múltiple de entrada común y el gas limpio se descarga por un múltiple de salida común.

Durante el funcionamiento se introduce el gas sucio por debajo de la chapa de tubería y hacia la parte superior de la tolva . Como disminuye la velocidad del gas al entrar , las partículas más gruesas se sedimentan directamente en el tolva. Las partículas más finas y todo el gas pasan después hacia arriba a los tubos de tela y después, del interior sucio del tubo, a través del tejido hacia a fuera. El gas limpio filtrado se reúne en la caja y se descarga por el múltiple de salida.

Al ir aumentando el polvo colectado, engruesa la torta del filtro en las paredes internas de las bolsas tubulares y la pérdida de carga, es decir, la diferencia de presión entre la entrada y la salida del colector aumenta.

Periódicamente, de acuerdo con un programa planeado de antemano o vigilando la pérdida de carga, el colector pasa a su ciclo de limpieza.

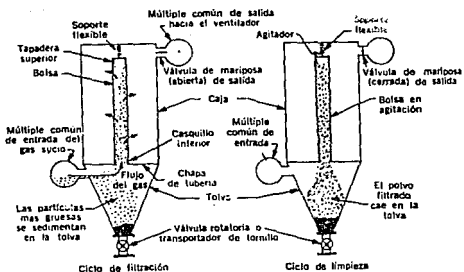


fig.15

c) Cámara automática de bolsa con limpieza de aire por flujo invertido.

En la fig.16 se muestran los principales componentes de ese tipo de cámara automática. La caja o cubierta está dividida en dos partes por una chapa de tubería. La porción superior contiene las bolsas tubulares de tejido y la porción inferior, la tolva.

Esta puede ser de tipo continuo que corre a lo largo de varios compartimientos, o una serie de tolvas piramidales, cada una correspondiente a un solo compartimiento. El gas sucio puede suministrarse por una sola entrada si se trata de una sola tolva

continua o por un múltiple común de entrada que dé paso a varias tolvas piramidales.

Cada bolsa tubular está unida por una pinza a un casquillo en el extremo inferior y a una tapa superior montada en un muelle, por la parte superior. Durante el ciclo de filtración, el gas entra por el múltiple común a cada tolva, sube por los filtro tubulares, atraviesa en éstos el tejido hacia la parte de la caja y sale por el múltiple común. La tolva sirve para la sedimentación de las partículas más gruesa.

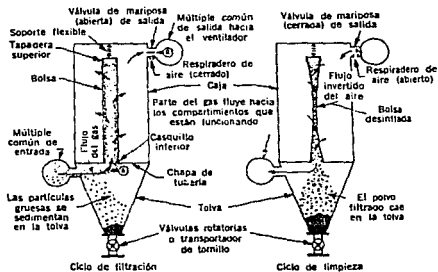


fig.16

d) Cámara de bolsas con chorro de contracorriente, en anillo móvil.

Como se observa en la fig.17 la cámara de filtros de bolsa con chorro de corriente invertida y en anillo, consiste en una cubierta dividida en tres partes por una chapa de tubería y otra lámina inferior.

El espacio que se encuentra por encima de la lámina superior sirve de múltiple de entrada común para varios compartimientos. La parte central de la cámara de la caja contiene los tubos de filtro y la parte inferior consiste de tolvas piramidales individuales, cada una con su propia válvula, o en una tolva extendida general con un transportador de tornillo hermético. Las bolsas están estiradas y sujetas por pinzas, entre dos casquillos que se encuentran en las chapas de tubería superior e inferior.

El gas sucio entra en el espacio que está por encima de la lámina superior. pasa hacia abajo a los tubos de filtración y hacia afuera por la tela de éstos. El polvo queda depositado en la parte interior del tubo del filtro.

El gas limpio se recolecta en la caja y se descarga por un múltiple común de salida.

Cada bolsa limpia un anillo móvil con aire a presión, el diámetro del anillo es ligeramente menor que el diámetro exterior del tubo. En los casos en que el gas contiene una carga grande de

partículas, el ciclón de limpieza es continuo. Cuando hay menos partículas suspendidas en el gas, se programa el ciclón de limpieza para que funcione periódicamente.

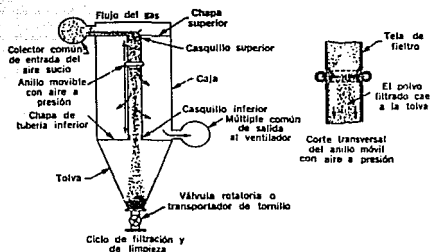


fig.17

Otros tipos de filtros de tela.

Las variantes de los filtros de tela conservan las características de funcionamiento del tipo básico. La selección se debe fundar en una evaluación de los costos del aparato instalado y de funcionamiento, incluyendo la duración de las bolsas de filtrar, y el costo del trabajo de cambio.

1) Filtros de tela, en forma de funda.

Hay varios diseños de cámaras automáticas de filtros de tela que emplean bolsas en forma de fundas y no de tubos.

En algunos modelos la funda tiene costuras que la convierten en una serie de tubos unidos.

La limpieza se lleva a cabo con un dispositivo de corriente invertida que se extiende a través de la parte ancha del colector.

2) Flujo inverso de chorro a presión.

En esta variante del colector de limpieza por corriente invertida, se añade un chorro intermitente de arriba hacia abajo por los tubos.

El flujo inverso y el chorro se programan de forma que se alternan durante el ciclo de limpieza.

3) Cartucho de filtro desechable.

Este tipo de colector, generalmente de capacidad pequeña, se emplea cuando el polvo es muy difícil de eliminar de los tejidos empleados para filtrar.

Purificadores de gases por vía húmeda.

Principio de funcionamiento.

Los purificadores de gases por vía húmeda emplean un líquido, generalmente agua, para capturar y después eliminar las partículas de una corriente de gas.

Para ilustrar un principio de la purificación por vía húmeda, la fig.18 presenta uno de los métodos más sencillos de estos aparatos : una cámara de sedimentación por gravedad con mecanismos para rociar, en las que las finas gotitas de agua de la rociada lavan el gas y hacen que se deposite el polvo como lodo en el tanque de sedimentación .

La corriente de gas sucio se hace más lenta en la boquilla de entrada, y se abre camino en medio de la turbulencia producida por la fuerza de los finos rociadores, pasa después a la sección de separación de las gotas de líquido y se aceleran en la boquilla de salida a la velocidad del conducto.

Como en todas las cámaras de sedimentación, algunas partículas más grandes se depositan en la superficie del agua por efecto de la gravedad. La principal recolección se lleva a cabo por colisión entre una partícula de polvo y una gotita de agua , con el resultado de que la segunda captura a la primera. Dichas colisiones son ocasionadas por :

- Choque de las partículas más grandes de polvo con las gotas de agua.
- Fuerzas electrostáticas.
- Gradientes térmicos.
- Condensación de la humedad en las partículas de polvo.

Los mecanismos anteriores hacen que las partículas de polvo

se hagan más grandes y más pesadas al ser capturadas por gotas de agua.

Este aumento de tamaño y del peso ayuda a la recolección de las partículas al reforzar las fuerzas que ayudan a separar el polvo más pesado del gas más ligero. Estas fuerzas son la gravedad, la inercia y la fuerza centrífuga.

Una vez capturada, la partícula de polvo húmeda actúa como si fuera una pequeña gota de agua. Rápidamente se unen entre sí para formar gotas mayores, después forman películas húmedas en las superficies y finalmente charcos de líquido.

En la cámara de rociar, casi toda la energía mezcladora es aportada por la presión de los rociadores.

Las presiones más altas se usan para producir gotitas más finas, en mayor número y con mayor turbulencia. Todas tienden a mejorar la eficiencia de recolección, pero éste dispositivo es básicamente un purificador de eficiencia escasa, que funciona a niveles de energía bajos y sólo adecuado para coleccionar las partículas gruesas. Las partículas capturadas y húmedas, se sedimentan por gravedad en forma de gotitas en la superficie del depósito de agua. Las gotitas enseguida caen al depósito de agua y deja libre el polvo que, como tiene un peso específico más alto que el agua, se sedimenta en el fondo para formar cieno, que se extrae periódicamente.

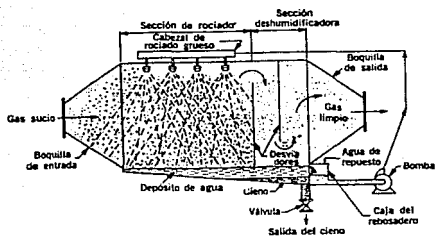


fig.18

Colectores de partículas con desviadores de choque.

La eficiencia colectora de éste tipo de instalaciones depende del ciclo que empieza por hacer chocar polvo previamente humedecido en una superficie empapada que captura las partículas en la película líquida que escurre por ella y que finalmente descarga el polvo fuera del colector en forma de cieno, junto con el líquido de lavado.

a) Lavador de ciclón .

En la fig.19 el gas sucio a alta velocidad se introduce tangencialmente en la parte inferior de un cilindro vertical. La fuerza centrífuga lanza el polvo contra la pared empapada. El agua se introduce radialmente a través del flujo de gas, por boquillas gruesas. El ángulo hacia arriba del líquido de rociamiento es ocasionado por la corriente hacia arriba del gas.

La porción superior del cilindro actúa como deshumidificador y el gas limpio y sin rocío sale por la parte de arriba. El agua y el polvo salen por el fondo del cilindro del tanque.

b) Lavadores de choque con placas desviadoras.

Como se muestra en al fig.20 éste colector de partículas consiste en una torre equipada con uno o más desviadores mojados que contienen cada uno una placa perforada con varios centenares de orificios pequeños por dm cuadrado.

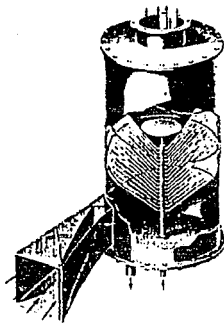


fig.19

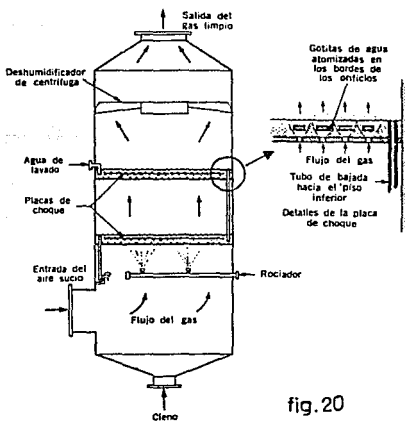


fig.20

Como se muestra en la figura, el gas y el polvo se preparan primero con un pulverizador grueso, después se pasan hacia arriba atravesando los desviadores de choque inundados.

Los pequeños orificios dividen la corriente total del gas en varias pequeñas. Como la velocidad es grande, alrededor de 1800 lts/seg, el borde de los agujeros atomiza el líquido formando gotas de 10 micras. Las gotas muy pequeñas aumentan la recolección de partículas finas en el aparato. Cada agujero está equipado con una pequeña placa en la que chocan las gotitas y el polvo a gran velocidad. El control del flujo del líquido se lleva a cabo por medio de rebosaderos y tuberías de desagüe del líquido sobrante que van de una placa a la siguiente. La sección superior de este lavador está equipada con un deshumidificador axial de placas.

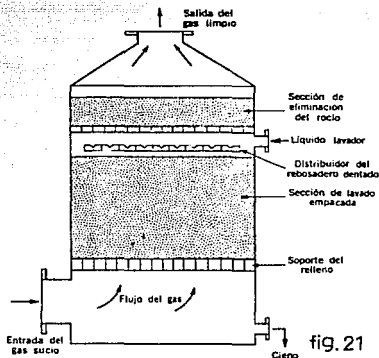
El agua sucia sale por el fondo.

c) Lavadores de cámara rellena.

En este tipo de colectores de partículas, el gas sucio se hace pasar de abajo hacia arriba a través de los intersticios tortuosos formados por una capa gruesa o delgada de relleno menudo humedecido por una contracorriente de líquido lavador.

Como las rutas del gas y del líquido son opuestas y complicadas y como el área de la superficie húmeda es muy grande hay oportunidades repetidas de que el polvo sea atrapado por una superficie mojada o por el líquido de lavado que desciende.

Hay una gran variedad de materiales de relleno entrelas que se encuentran las esferas de vidrio o de plástico, anillos Raschig, sillas Berl, anillos fraccionados, etc.



d) Lavador de lecho fluido.

La fig.22 presenta un lavador típico en el que la velocidad del flujo de gas es suficientemente alta para mantener en constante movimiento las esferas de la capa de relleno.

Este movimiento tiende a evitar la incrustación, la obstrucción y la canalización. Hay rejillas que impiden que las esferas se salgan.

Igual que en la capa de relleno fijo, la corriente del líquido es opuesta a la del gas. Una placa axial para eliminar la humedad, hace girar las gotas que se escapan contra la pared cilíndrica húmeda, antes de que el gas limpio y sin humedad salga por el escape. El polvo en forma de cieno sale por el fondo.

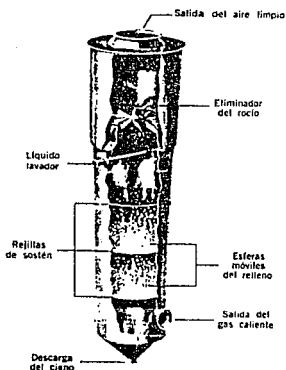


fig.22

Precipitadores Eléctricos.

Principio de funcionamiento.

Los precipitadores eléctricos se han aplicado a una gran

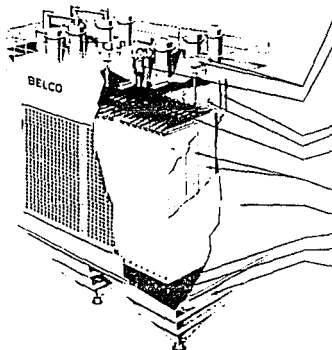
variedad de problemas de limpieza de gases, con eficiencias colectoras hasta del 99.9 %, a capacidades de 1,800,000 litros/seg y a temperaturas del gas de 538 °C.

Un precipitador eléctrico separa las partículas suspendidas en una corriente de gas cargando primero el polvo hasta un voltaje negativo de 50,000 Volts, precipitándolo en un electrodo colector conectado a tierra y después descargando el polvo reunido en una tolva. Aunque los voltajes que se utilizan son muy elevados, el consumo de energía es bajo y la caída de presión es de 12.7 mm de H₂O la menor de todos los colectores de eficiencia alta.

En los modelos comerciales de tamaño natural, el gas sucio pasa horizontalmente por conductos estrechos formados por filas paralelas de electrodos conectados a tierra.

En las líneas centrales de cada pasadizo del gas hay alambres espaciados, de alto voltaje y aislados eléctricamente, que hacen que el gas sucio pase entre los alambres de alto voltaje y las placas conectadas a tierra. La fig.23 presenta un precipitador moderno.

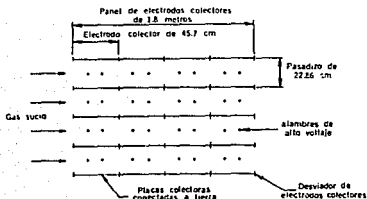
Las dimensiones típicas de los pasajes del gas en un precipitador comercial grande son: 22.8 cm de ancho, 6 mts. de altura y 8.2 mts. de longitud. La distancia, entre los alambres del electrodo de descarga de alto voltaje y las placas colectoras de conexión a tierra es de la mitad de la anchura de los pasajes del gas, es de 11.4 cm.



- Todos los vibradores y dispositivos para secar y desmenuar el polvo, están montados encima de la caja así precipitarlos para facilitar la revisión y el ajuste.
- Cada aislador de soporte de alto voltaje, está montado en un aislador individual montado en el techo de la caja, lo cual resulta conveniente por muchas razones:
 - a.—Los aisladores están lejos de la corriente de gas.
 - b.—Se pueden inspeccionar, limpiar y hasta sustituir sin tener que abrir la caja.
 - c.—Los aisladores están protegidos del polvo por cubiertas de puesta a tierra.
 - d.—En herrajes especiales se pueden proteger los aisladores con aire caliente seco.
- Techo de la caja construido en fábrica, de una sola pieza, de acero.
- Múltiples de electrodos colectores suspendidos de rejillas, de fabricación especial y aislados con gomas.
- Campos de descarga de alto voltaje suspendidos de una rejilla de fábrica industrial, se mantienen en la posición exacta con cuatro particularizadores de alto voltaje.
- La posición exacta de los electrodos de descarga, suspendidos de la rejilla, se mantiene con cuatro particularizadores de alto voltaje.
- Los atmósferas de descarga de los electrodos están aislados en forma especial en ambos extremos, para asegurar un buen contacto eléctrico, para evitar que se quemen y para prolongar la vida.
- La caja tiene el techo, paredes y tapas de diseño exterior sencillo para facilitar la operación del aislamiento térmico.
- Un atmósfera está en posición para ser quitada y sustituida en unos cuantos minutos si abrir la caja.
- No pueden caer cosas pesadas en los tolvas que bloqueen o rompan las válvulas.
- Las tolvas piramidales están equipadas con puertas de acceso para lavar, revisara para remover o sacar el polvo, lados muy inclinados y válvulas grandes reforzadas. Estas condiciones permiten cubrir las necesidades de servicio: las tolvas se pueden guardar con aspiradores de calentamiento, vibradores, muelles e indicadores de nivel. Otras formas de tolvas con tapas para desmenuar el polvo, del tipo de cubeta, y de fondo hueco.
- Puertas con cerradura de seguridad, que se pueden abrir rápidamente, proporcionan un acceso fácil por el techo y por los lados de la caja.

fig. 23

La fig. 24 muestra un corte transversal típico de uno de los campos bobines de cuatro pasadizos de electrodos colectores.



La fig.25 muestra el patrón de flujo de la corriente entre los alambres y las placas. Esta flujo, también denominado viento eléctrico resulta de la migración masiva de iones de gas con carga negativa hacia la placa conectada a tierra y relativamente positiva.

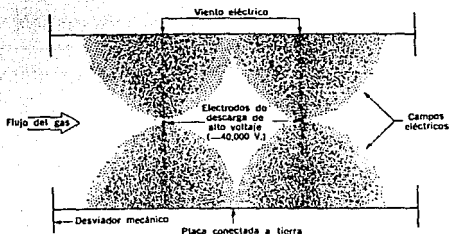


fig.25

La fig.26 presenta los seis pasos esenciales del proceso Cottrell. Los pasos 1, 2, 3 y 4 son continuos. Los pasos 5 y 6 están programados a intervalos entre los límites de un minuto a seis horas de acuerdo con varios factores del funcionamiento.

a) Ionización del gas.

Los precipitadores eléctricos funcionan a 40,000 y 50,000 Volts por debajo del potencial de tierra. Este potencial es

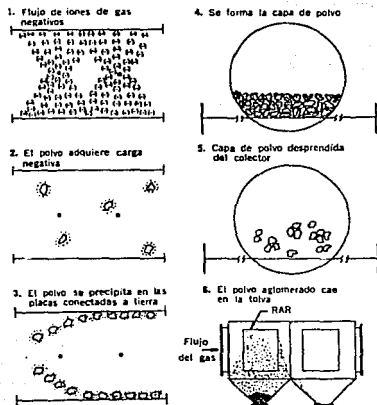


fig.26

suficiente para hacer que miles de millones de electrones se desprendan de los alambres y bombardeen a las moléculas de gas de la región próxima a los alambres. La fuerza de este bombardeo hace que se formen iones del gas positivos y negativos cuya presencia se puede observar por la aparición de una corona de azul visible.

Los iones responden a la potente fuerza electrostática

moviéndose hacia los electrodos de carga opuesta. Los iones de carga positiva del gas vuelven al alambre negativo y recuperan los electrones perdidos; los iones negativos del gas se dirigen hacia el electrodo colector conectado a tierra, llenando el pasadizo del gas de miles de millones de iones negativos de gas.

La mayor parte del flujo de corriente en un precipitador eléctrico se debe a la corriente de iones negativos de los alambres a las placas.

b) Carga del polvo.

Al ser arrastradas las partículas de polvo a través de los pasadizos por el gas, chocan con los iones negativos del gas y adquieren una carga negativa. Como los iones del gas son miles de veces más pequeños incluso que el polvo menor de una micra y debido a su gran número, constituyen fuerzas de carga suficientes para casi cualquier problema de recolección de partículas.

c) Precipitación del polvo.

Las partículas de polvo con carga negativa, se dirigen rápidamente a las placas de tierra (positiva) y se unen a ellas sujetas por fuerzas eléctricas potentes.

d) Formación de la capa de polvo.

Las partículas de polvo forman una capa cada vez más gruesa en los electrodos colectores y la carga negativa pasa gradualmente del polvo al electrodo conectado a tierra. Al engrosar la capa,

las cargas del polvo precipitado recientemente tienen que ser conducidas por las precipitadas anteriormente. La resistencia de la capa de polvo a este flujo de corriente de denomina resistividad del polvo.

e) Sacudida del electrodo colector.

Cuando ya se ha precipitado una capa de un grosor de 1.59 a 6.35 mm., las partículas más cercanas al electrodo han perdido una gran parte de su carga por la placa conectada a tierra.

La atracción eléctrica se ha debilitado. Las partículas recién llegadas conservan una gran parte de su carga por estar eléctricamente aisladas de la placa por la capa de polvo y por tanto mantienen la capa completa adherida al electrodo.

Una sacudida violenta, hace que la capa de polvo se desprenda del electrodo colector. La fuerza de la sacudida debe ser adecuada para que la capa se desprenda formando conglomerados relativamente grandes de partículas y no se dispersen otra vez en partículas menores de una micra.

f) Caída del polvo en la tolva.

Los conglomerados relativamente grandes caen en las tolvas por gravedad al igual que en la cámara de sedimentación por gravedad. La mayoría de los precipitadores eléctricos funcionan a velocidades del gas de 1 a 2 m/seg para permitir suficiente tiempo de sedimentación.

El voltaje se mantiene alto para volver a cargar y precipitar cualquier partícula fina que pueda ser arrastrada durante el ciclo de desprendimiento de la capa de polvo.

Otros modelos

Para operaciones especiales, los fabricantes han hecho varios tipos especiales de precipitadores eléctricos.

a) Precipitadores de rocío ácido.

La fig. 27 presenta un precipitador diseñado para coleccionar las diminutas gotitas de ácido sulfúrico en suspensión, en gas o en aire.

Todas las partes expuestas al gas son de plomo. El diseño básico incluye una cámara superior cilíndrica y una inferior; ambas cámaras están conectadas por tubos de plomo de 25.4 cm. de diámetro. El flujo de gas es horizontal en la porción superior de la cámara inferior, después baja para subir por las entradas acampanadas de los tubos de plomo hasta la cámara superior y de allí hacia afuera por el tubo de salida del gas limpio. La fig. presenta sólo tres tubos.

Las gotitas ácidas suspendidas en el gas adquieren carga negativa y después se precipitan al pasar hacia arriba entre los alambres y tubos. Por estar en forma de rocío se genera una película líquida que escurre a la cámara inferior y se dirige por

el tubo de descarga del ácido.

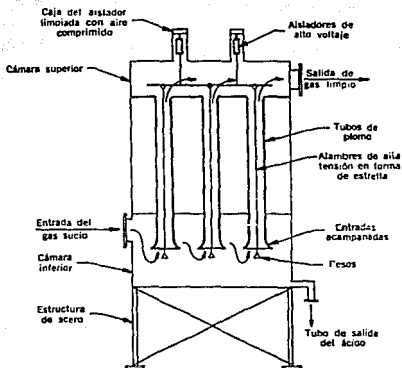


fig.27

b) Precipitador electrostático de voltaje bajo y de dos fases.

Este precipitador se diseñó originalmente para purificar aire y se usa en combinación con sistema de acondicionamiento de aire. La primera fase (ionizante) consiste en alambres finos (0.17 mm.) con carga positiva y varillas paralelas conectadas a tierra. La polaridad positiva tiene por objeto reducir al mínimo la formación de ozono; la segunda fase (colectora) consta de placas de metal

paralelas a una distancia de 2.5 cm. o menos y con cargas opuestas. Otros diseños emplean placas de carga positiva para precipitar el polvo en placas conectadas a tierra, estos colectores son adecuados sólo para cargas de polvo pequeñas.

3.3 Equipos absorbedores de gases.

Las escasas alternativas con que se cuenta para el tratamiento de un gas de desecho son:

- a) Dispersión
- b) Absorción en un medio seco o húmedo
- c) Adsorción

Dispersión con chimeneas

Quizá el método más antiguo de manejar un gas nocivo fue poner una chimenea y descargarlo a la atmósfera directamente.

En un principio las chimeneas se idearon para que se expulsara el humo del interior de las casas y después, de la tragua; más adelante, de las plantas generadoras de energía a partir de combustibles fósiles. La chimenea actuaba como generador de corriente de aire que arrastraba una suficiente cantidad para mantener la combustión activa, ya sea que se quemara madera, carbón, petróleo o gas. Cuanto más grande fuera la chimenea mayor era la corriente de aire y, en consecuencia, mejor la combustión.

En éste sentido la chimenea no era un dispositivo de control

de la contaminación, ni tampoco lo es hoy, aunque se considera bueno en muchas regiones.

La chimenea alta, a diferencia de la baja en una industria, es una herramienta que se puede utilizar para reducir concentraciones de contaminantes gaseosos a nivel del suelo, descargándolas a una altura en la que tenga lugar suficiente dispersión de tal modo que la concentración a nivel del suelo en cualquier punto no muy lejano a la base de la chimenea no exceda a la concentración tolerada. Por lo tanto, la chimenea alta se puede considerar más bien como un dispositivo de control de la contaminación a nivel del suelo en lugar de una forma de control de la contaminación del aire, ya que no disminuye ni un gramo la cantidad de gas nocivo descargado en la atmósfera.

En la actualidad las chimeneas altas se emplean sólo como un último remedio para eliminar gases contaminantes que resultaría extraordinariamente difícil o costoso darle un tratamiento antes de expulsarlo a la atmósfera.

Absorción y reacción química.

Otro método de tratar los desechos industriales gaseosos es el de absorción, que puede llevarse a cabo con o sin reacción química. Por ejemplo, las emisiones que contengan cloruro de hidrógeno se pueden lavar con agua para formar ácido clorhídrico,

en solución débil, al ser absorbido por el agua.

Por otra parte, si se desea hacer absorción y neutralizar al mismo tiempo, se puede lavar con una débil solución de hidróxido de calcio para obtener como productos finales cloruro de sodio o de calcio.

En un caso se tiene un sistema de verdadera absorción, en el otro una reacción química. Aunque hay una diferencia bien clara entre los dos sistemas, el aparato utilizado para llevar a cabo la tarea puede ser esencialmente el mismo : una columna con relleno o una columna de placas o cualquiera de los modelos de equipo de contacto que producirían el mismo resultado.

El equipo que se emplea para la absorción o la reacción química de los gases contaminantes es muy similar y en muchos casos idéntico al utilizado para eliminar partículas que se describió en el capítulo anterior (Aparato para lavado por vía húmeda). Los aparatos absorbedores de gases empleados en la mayoría de los procesos industriales de desechos son principalmente cinco tipos diferentes :

- 1.- Columnas rellenas.
- 2.- Columnas con placas.
- 3.- Burbujeo debajo de la superficie de un líquido.
- 4.- Torres de rociamiento.
- 5.- Diversos lavadores de alta energía.

Columnas rellenas.

Generalmente las columnas rellenas están fabricadas con material resistente a la corrosión de la mezcla absorbida gas-líquido. Consisten en una columna vertical con una o más secciones rellenas que contienen un relleno de algún material de cerámica, metal o plástico, que proporciona una gran área superficial de contacto por unidad de volumen. Se emplea un distribuidor para repartir la fase líquida en el material de relleno como lo muestra la fig.28

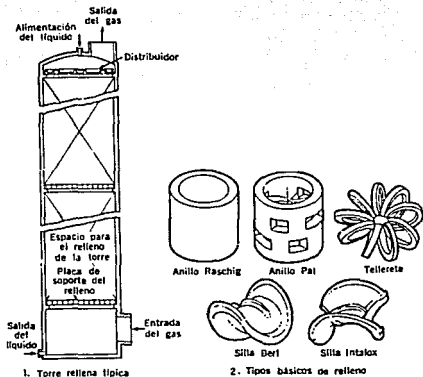


fig.28

El reciclaje en una o más secciones se emplea para aumentar la concentración del vapor o gas absorbido.

El gas emitido, normalmente aire con contaminantes, que ya tiene una concentración inferior a la mínima reglamentaria, sale por la parte superior de la torre y la solución se recibe por el fondo. Las torres rellenas normalmente se emplean cuando se cuenta con flujo líquido abundante. También son adecuados para la absorción y disipación de calor del gas de desecho.

Las columnas rellenas generalmente son más adecuadas para la absorción del vapor y del gas que para la recolección de partículas debido a los pequeños intersticios que incluyen. No son apropiadas en los casos en que la proporción de gas debe ser alta y la de líquido baja.

Columna de placas.

Las columnas de placas se emplean para la absorción de gases y vapores, cuando se prefieren cantidades pequeñas de líquido (ver fig.29). Suele ser particularmente cierto cuando el gas contiene pequeñas cantidades de compuestos muy solubles. En la columna de placas, debido al mecanismo de distribución, se pueden usar cantidades de soluto en forma de vapor o gas. Las columnas de placas son de tipo muy variado. La más usada es la casquete de burbujeo, pero también se emplean las placas de burbujas y las de cribas de burbujeo.

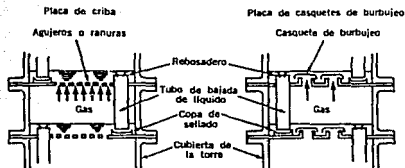


fig.29

Sistema de burbujeo dentro de un líquido.

En general se usan los sistemas de burbujeo dentro de un líquido cuando la proporción de gas es grande y hay que distribuirla en un volumen grande de líquido. Un ejemplo es el caso de introducción de bióxido de carbono en el suministro municipal de agua. En general éstos aparatos no son aplicables a los gases contaminantes, pero se pueden emplear cuando el gas o vapor contaminante es muy soluble. El burbujeo sumergido a un metro de la superficie del agua, en burbujas muy pequeñas, proporciona una gran área superficial de contacto por la absorción del gas o vapor contaminante.

Torres de rociamiento.

Las torres de rociamiento se emplean normalmente para reducir la temperatura de una gas contaminante en la forma más económica.

Cuando se rocían, en forma de gotitas muy finas, grandes cantidades de agua o de otro absorbente en una torre o cámara y se ponen en contacto con el gas, tiene lugar la absorción del vapor o gas soluble en el interior de la cámara. Las torres de rociamiento generalmente son menos eficaces que las columnas rellenas o de tipo de placa y no se usan mucho para la absorción de gases.

Lavadores de alta energía.

Los lavadores de alta energía generalmente se utilizan para eliminar todas las partículas, como se indicó en el capítulo anterior. También se pueden emplear para la absorción de gas en el caso en que se trate de contaminantes muy solubles en agua o en otro líquido de lavado. La alta energía no tiene ninguna ventaja especial para la absorción del gas, excepto el tamaño y el costo inicial.

El tiempo de contacto es menor y la acción lavadora no es mejor que las de las columnas de relleno o de placas.

En cambio las necesidades, en lo referente a la presión del líquido de lavado y del gas contaminante, son generalmente bastante altas.

Sistema de absorción gas - sólido.

En los últimos años se ha trabajado mucho en los sistemas de absorción o de reacción en fase sólida, especialmente en lo que se refiere al difícil contaminante SO_2 . En general tales sistemas no

son compatibles con las exigencias de las emisiones muy pequeñas y por ello no se tienen en cuenta cuando se trata de corrientes de flujo relativamente pequeñas. Sin embargo, ofrecen buenas posibilidades cuando se trata de grandes proporciones de gas que contienen una cantidad bastante abundante de SO_2 que, si se descargan directamente a la atmósfera, producen altas concentraciones a nivel del suelo, muy superiores a las toleradas por los reglamentos usuales.

Antes de la introducción de algunos de éstos sistemas se había utilizado una chimenea para dispersar el SO_2 , pero debido a la tendencia prevaleciente a eliminar el contaminante de la atmósfera se han probado otros métodos, aunque no resulten económicos, para recuperar el gas de una o varias formas.

Hasta la fecha los cuatro procesos principales que se han utilizado para separar el SO_2 son :

- 1.- Inyección de dolomita seca con lavado líquido.
- 2.- Oxidación catalítica.
- 3.- Alúmina alcalina.
- 4.- Proceso Reinluft de absorción en seco.

El primer proceso consiste en inyectar dolomita seca y carbonato de calcio a una caldera en la que se está quemando un combustible fósil (fig.30). La caliza reacciona con el anhídrico

sulfuroso de las emisiones directamente en la caldera, formando sulfato de calcio o yeso que después se extrae por medio de un lavado líquido subsiguiente.

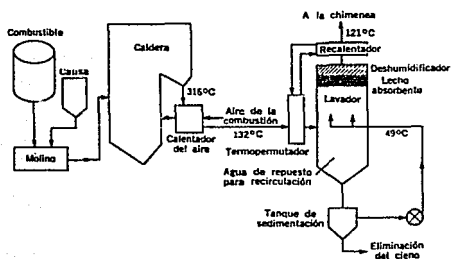


fig.30

En el segundo método, el del proceso de oxidación catalítica consiste en hacer pasar los gases de las emisiones (después de haber sufrido un proceso de eliminación de partículas) por una capa catalítica de pentóxido de vanadio, en donde se produce aproximadamente una solución al 77 % de ácido sulfúrico.

El proceso de alúmina alcalina (fig.32), consiste en hacer pasar las emisiones gaseosas por una capa de alúmina alcalina, que

es una forma activa del aluminato de sodio y que está formando esferas de un diámetro de 1.6 mm.

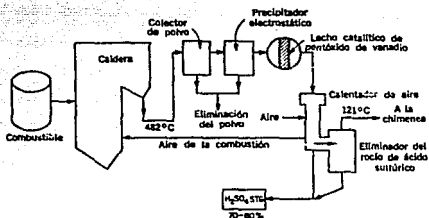


fig.31

El absorbente es en realidad un lecho fluidizado y la alúmina alcalina reacciona con el SO₂ presente en las emisiones a una temperatura de 300 a 350 °C .

El SO₂ se convierte en sulfato que se regenera por calentamiento a una temperatura aproximada de 700 °C en el lecho fluidizado utilizando un gas reductor que se obtiene reformando el gas natural o una carga hidrocarbonada adecuada. El producto es H₂S que se convierte en azúfre puro. !

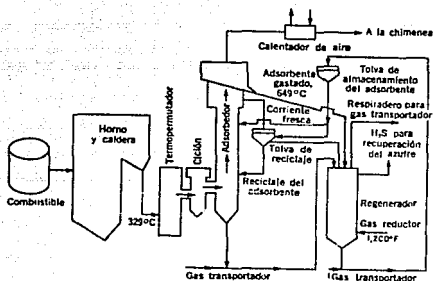


fig.32

Finalmente, en el proceso Reinluf fig.33 se absorbe SO₂ en un carbón adsorbente que se obtiene calcinando carbón a temperaturas de 593 °C. El carbón adsorbente se puede reactivar tratándolo con ácido sulfúrico y evaporando después el ácido. El carbón puede absorberse calentando el gas que contiene 40 a 50 % de SO₂ que se puede licuar o utilizar para hacer ácido sulfúrico o azufre.

Aunque se han diseñado muchos otros procesos de absorción para el tratamiento de una gran variedad de gases de las emisiones de la combustión, la mayoría son muy específicos y no son aplicables al problema en general de los procesos más comunes de

tratamiento de emisiones contaminantes.

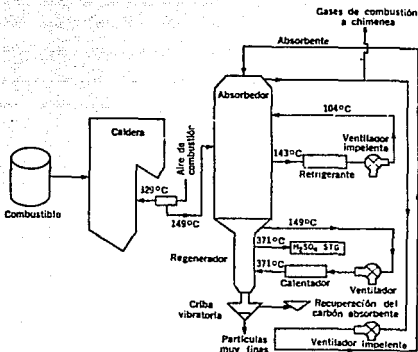


fig.33

Condensación.

Un método de control de la contaminación del aire que casi resulta demasiado obvio de mencionar es el proceso de condensación; sin embargo, es viable para el control de los contaminantes atmosféricos. Casi siempre se emplea la condensación cuando las emisiones gaseosas de una industria tienen cantidades

abundantes de un compuesto condensable, como en el caso de aire saturado de agua u otro vapor. Puede considerarse sólo un método de tratamiento previo a otros sistemas para eliminar vapores solventes.

El condensador en este tipo de operación no debe ser como el que se emplea para el vapor de una caldera. El material que maneja no es un vapor puro que se condensará a una temperatura determinada, sino una corriente saturada de gas que consta principalmente de compuestos no condensables. El vapor solvente empezará a condensarse a lo largo de una curva de saturación de dicho vapor en el aire (u otro gas no condensable). Si el vapor es de agua, la curva seguirá la gráfica psicométrica y lo mismo es cierto para cualquier otro vapor que se encuentre arrastrado por un gas no condensable.

Los equipos disponibles para este proceso son :

- a) Condensador tubular de superficie (coraza y tubo).
- b) Condensador tubular enfriado por aire.
- c) Condensador de contacto directo.

Condensador de coraza y tubos .

El medio que sirve para enfriar se encuentra generalmente en el lado del tubo con el vapor en el lado de la coraza.

Para enfriar se puede usar agua templada, refrigerada o un

refrigerante, según la temperatura de condensación deseada.

En el exterior se suelen usar tubos de aletas para reducir el área superficial, pero en cualquier caso el coeficiente general de transferencia del calor es bajo (del orden de 48 a 73 kcal/hr/m² °C)

Condensadores tubulares enfriados con aire .

En general no resultan prácticos para corrientes de vapor diluidas porque la diferencia de temperatura es pequeña y la superficie requerida grande; sin embargo, se pueden usar más eficazmente cuando la corriente contiene grandes cantidades de compuestos condensables.

Casi siempre el equipo es de gran tamaño y lleva en el exterior tubos de aletas y ventiladores grandes de corriente forzada o inducida.

Condensadores de contacto directo.

Los condensadores de pulverización, los de chorro y los barométricos utilizan agua u otro líquido condensador en contacto directo con el vapor que se va a condensar. La diferencia de temperatura entre el líquido y el vapor es muy pequeña y, por lo tanto, la eficiencia de condensación es alta pero se necesitan grandes cantidades de líquido condensador.

Si el vapor es soluble en el líquido de condensación, el

sistema es esencialmente de absorción. Si el vapor no es soluble, es un verdadero condensador en el que la temperatura del vapor debe estar por debajo del punto de condensación.

Los condensadores de contacto directo rara vez se usan para eliminar vapores orgánicos solventes, porque entonces el condensado contiene una mezcla de agua-compuestos orgánicos que hay que separar o tratar antes de eliminar el calor de las corrientes gaseosas calientes cuando no se consideran de importancia la recuperación de los compuestos orgánicos.

Adsorción.

La adsorción es un fenómeno de superficie molecular en el que las moléculas de un fluido se ponen en contacto con la superficie de un sólido y se adhieren a ella. Los procesos de adsorción exigen una consideración importante en el control de la contaminación del aire ya que los gases orgánicos se pueden captar selectivamente o eliminar de las corrientes de aire por medio de adsorbentes específicos.

Para que un material sea buen adsorbente debe tener una proporción superficie /volumen grande, ya que el fenómeno tiene lugar en la superficie del material. Es la magnitud del área superficial, más que su naturaleza específica, la que es causante primordialmente de la capacidad que posee el carbón activado u

otro material de absorber grandes cantidades de moléculas orgánicas.

Adsorbentes:

Los adsorbentes que se emplean en el control de la contaminación del aire constan de diferente tipo de material: carbón activado, gel de sílice, alúmina y bauxita. Por razones prácticas el carbón activado es el único que se emplea más para eliminar los vapores orgánicos de las emisiones gaseosas industriales.

Aunque con el gel de sílice también se pueden eliminar, sólo son eficaces cuando no hay agua presente, porque el gel de sílice también es deshidratante y tiende a captar el agua mucho más rápidamente que las moléculas orgánicas.

La alúmina y la bauxita también se emplean especialmente para la deshidratación del aire y de gases diversos.

Se concibe perfectamente que se pueda usar el gel de sílice para separar los gases orgánicos de emisiones gaseosas, si éstas están completamente secas. La regeneración exigirla calor seco y con esto sólo volvería a crearse el problema de la contaminación del aire. Por otro lado, el carbón activado se regenera empleando vapor que, a su vez, se condensa y se separa del material orgánico.

Sistemas de carbón activado.

La adsorción en carbón activado se usa generalmente para eliminar compuestos orgánicos de las corrientes gaseosas de desecho, cuando prevalecen las siguientes condiciones :

a) Cuando la corriente contiene cantidades muy pequeñas de cualquier solvente orgánico que no se pueda descargar en la atmósfera.

b) Cuando la corriente contiene cantidades relativamente altas de solvente que se debe recuperar.

c) Cuando contiene uno o más compuestos orgánicos que no se pueden eliminar por medio de cualquier otro método de control de la contaminación.

El primer caso suele ser muy poco frecuente ya que se puede emplear la incineración para las mezclas aire-solvente; sin embargo, la preferencia económica de la incineración a la adsorción en carbón activado probablemente esté basada en la cantidad de solvente o vapor orgánico presente en las emisiones.

La segunda razón es la usual para escoger el carbón activado, en éste caso se está tratando de recuperar el solvente o compuesto orgánico debido a su valor y puede hacerse por éste método.

En el caso tres, en que la adsorción en carbón activado es el único método aceptable, se puede, o bien se desecha el carbón con el solvente adsorbido, o regenerar y separar los diversos solventes por destilación.

Tipos de sistemas.

Hay dos tipos fundamentales: el regenerativo y el no regenerativo.

En la mayoría de las aplicaciones industriales se emplea el regenerativo, o sea, el que está diseñado para la recuperación de solventes o vapores costosos.

El tipo no regenerativo se usa por lo general cuando la concentración del vapor es extremadamente pequeña y se puede desechar el carbón con el vapor absorbido. El sistema de tipo regenerativo se debe diseñar para adsorber compuestos orgánicos a la temperatura de trabajo y liberarlos cuando se eleva la temperatura del carbón por encima del punto de ebullición del solvente. Los sistemas regenerativos son evidentemente más caros que los no regenerativos porque tienen que incluir equipo de recuperación o de separación.

El equipo que se emplea en los sistemas de tipo regenerativo se describe en la fig.34. Puede consistir en un modelo de dos o tres capas, según la forma de operar, o también puede ser de un sólo lecho si el sistema lo permite.

El proceso de adsorción del vapor en la superficie de la capa de carbón activado es progresivo. Al empezar a pasar la corriente cargada de vapor a través de la capa de carbón, satura las partículas de carbón con las que entra en contacto primero. Al

saturarse estas con el vapor orgánico ya no captan más moléculas orgánicas. Entonces, la partícula de carbón que esta en una parte más profunda de la capa empieza a trabajar en el proceso de adsorción.

Finalmente, toda la capa llega a estar saturada de moléculas orgánicas y ya no hay más partículas de carbón disponibles para la corriente de gas.

Al llegar a este punto a un notable aumento del contenido orgánico del gas que ha atravesado el lecho de carbón. Esto se denomina punto de agotamiento. Es el momento en que hay que regenerar la capa de carbón.

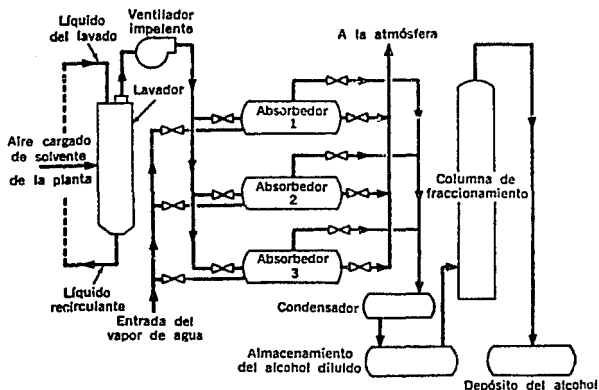


fig.34

CAPITULO IV. Diseño y construcción del dispositivo.

4.1 Variables consideradas en el diseño.

Por lo expuesto en los capítulos anteriores, los problemas causados por la contaminación del aire resultan ser de vital importancia, sin duda es necesario crear, buscar, planterar o incluso modificar las posibles soluciones que se puedan tener para hacer menos grave este problema o al menos mantenerlo a un nivel aceptable. Es por esto, que en las siguientes líneas se plantea una posible solución que pueda ayudar al mejoramiento de la calidad del aire que se respira.

Considerando los diferentes equipos existentes para la limpieza del aire, se observa, que son individuales, pues se tiene aquéllos que retienen partículas o los otros que se hacen cargo de los diferentes gases; por ésta razón se propone un diseño de un dispositivo que consista en la integración de los dos efectos mencionados para lograr que en un solo dispositivo se realicen las dos formas de limpieza del aire pretendiendo además, ahorrar espacio y como consecuencia, material de fabricación atendiendo a los principios que rigen a la ingeniería; hacer las cosas lo mejor posible al menor costo y con el menor esfuerzo.

A continuación se plantea una idea general de lo que se

pretende sea una posible solución al problema.

La idea fundamental, considera para el diseño, un dispositivo a través del cual se hace pasar una cantidad de aire y mediante el contacto de éste con algunas sustancias químicas, alojadas en el interior, provocan una separación, absorción o descomposición de los diferentes contaminantes contenidos en el aire de entrada.

Se busca que la entrada del aire así como la salida sea continua, es decir, que permenezca en el interior el tiempo suficiente para llevar a cabo las reacciones; para lograr esto es necesario entonces forzar la entrada del aire al dispositivo, esto se puede hacer por tres formas:

- a) Mediante la instalación de un ventilador.
- b) Mediante el movimiento del mismo dispositivo.
- c) Mediante el movimiento natural del aire.

La primera opción implica aumentar el costo, tanto de fabricación como el de operación, pues habrá que suministrar una cantidad de energía eléctrica para el funcionamiento del ventilador

La segunda opción presupone darle movimiento al dispositivo y para lograrlo se puede conjuntar con un mecanismo que realice esta función; por ejemplo, instalarse en un automóvil, buscando con esto que cuando el auto tenga movimiento, el dispositivo también y como consecuencia se realice la entrada de aire.

Finalmente la tercera opción es inslatar el dispositivo en lugares donde el movimiento del aire sea lo suficiente para asegurar la entrada de aire con la desventaja de que por razones climatológicas el movimiento del aire no sea constante, estos lugares pueden ser azoteas de casas, hoteles, edificios, etc.

De acuerdo a lo mencionado resulta necesario extraer los parámetros que se consideran de mayor importancia para el buen funcionamiento del dispositivo, por ejemplo:

Espacio

Tamaño

Dimensiones

Costo de fabricación

Diseño aerodinámico

Bajo consumo de energía

Materiales resistentes a la corrosión y medio ambiente

De fácil instalación y mantenimiento

Alta eficiencia

Bajo peso

Considerando estos parámetros y además la segunda opción para el flujo de aire se contempla lo siguiente:

Es evidente que el dispositivo estará sometido a las condiciones ambientales que existen en la ciudad, entonces, se propone utilizar la fibra de vidrio como material de fabricación

ya que es un material ligero, económico, resistente a la corrosión, de buena resistencia mecánica y de fácil manejo.

El dispositivo necesariamente tendrá una entrada y una salida para asegurar el paso continuo del aire a través de él, pero es necesario que el aire introducido tenga contacto con las sustancias que provocarán las reacciones químicas por medio de los cuales se logra el objetivo establecido.

Para garantizar el contacto entre el aire y las sustancias se colocarán en el interior del dispositivo desviadores que dirigirán el aire hacia cada uno de los compartimientos en los cuales se tienen los reactivos y así asegurar el contacto íntimo.

Puesto que se necesita que el aire a la entrada tenga una cierta velocidad, esto se logra colocando el dispositivo en el toldo de algún automóvil, resulta importante que el diseño sea aerodinámico para no causar problemas al automóvil, ya que si no lo es, provocaría oposición al paso de aire y esto traería como consecuencia un mayor coeficiente de arrastre y por tanto un mayor consumo de combustible.

Por otra parte, será necesario darle mantenimiento al dispositivo para retirar los contaminantes absorbidos, es por ello que estará formado por dos piezas, una superior donde estarán los desviadores y otra inferior donde se tendrán los compartimientos con las sustancias. Esto trae como consecuencia directa un fácil

desmontaje para su limpieza.

Hasta ahora se han tratado aspectos físicos y mecánicos del dispositivo pues se han mencionado las características con las cuales debe cumplir, sin embargo, otro aspecto resulta importante y bien puede plantearse bajo una pregunta. ¿ Como lograr la separación de los contaminantes ? Es evidente que al contacto del aire con algunas sustancias producirán reacciones químicas mediante las cuales se logra la separación de algunos contaminantes, pero resulta interesante saber que sustancias utilizar para tal fin.

Analizando los productos de combustión se sabe que se emplean varios dispositivos para el estudio de los mismos y entre ellos se encuentra el aparato de Orsat el cual es uno de los más utilizados.

Este dispositivo funciona de la siguiente forma:

La botella C, que contiene agua, se comunica con la bureta B por una manguera, levantando o bajando la botella se hace que el agua entre en la bureta o salga de ella. Para analizar se desaloja primero el aire de la bureta y de los conductos o pasos anexos empujándolos con el agua de C. Luego se introduce en la bureta B una muestra de los productos de combustión.

Durante estas operaciones preliminares, las válvulas de aguja N₁, N₂, N₃, que establecen la comunicación con los recipientes de las soluciones D, E y F han sido cerradas. Después con la válvula

Na abierta, se obliga a la muestra de gases de la bureta a entrar en el recipiente D levantando la botella C. En D hay una solución de hidróxido de potasio (Potasa cáustica KOH) al 30% que absorbe al bióxido de carbono (CO_2) de los gases, dejando pasar sin alterarlos a los otros constituyentes. El gas se retorna a la bureta B bajando C, en forma sucesiva, se obliga al gas a entrar en los recipientes E y F. En el primero hay una solución de ácido pirogálico (pirogaiol $\text{C}_6\text{H}_5(\text{OH})_3$ en una solución de hidróxido de potasio la cual absorbe el oxígeno, en F hay una solución de cloruro cuproso en amoniaco la cual retendrá el monóxido de carbono (CO), se supone que el resto del gas es nitrógeno.

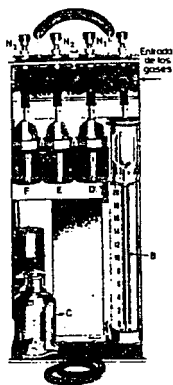


fig. 35

Segun el funcionamiento del aparato de Orsat no se requiere demasiado tiempo de reacción de tal suerte que la absorción de algunos gases resulta casi inmediata, es por esta razón que estas sustancias son apropiadas para su utilización en el dispositivo absorbedor de contaminantes atmosféricos ya que el tiempo de permanencia del aire en el interior del dispositivo es mínimo y permite, como consecuencia, un gasto continuo y una cantidad mayor de aire limpio.

Cabe mencionar que el objetivo es retirar contaminantes del aire y en la bureta E del aparato de Orsat se retiene oxígeno el cual no es contaminante, por lo cual esta solución no se utilizará.

En su lugar se utilizará agua (H_2O) principalmente porque el ozono no es muy estable y al contacto de éste con el agua reacciona logrando así, parte del objetivo.

Por otra parte, en la bureta D se absorbe CO_2 a través de una solución de potasa caústica, aquí se realizará un pequeño cambio y se utilizará una solución de hidróxido de sodio ($NaOH$) la cual realiza la misma función, pero, además absorbe "agua". Para justificar su utilización se mencionan a continuación sus características:

Conocida comúnmente como sosa caústica.

Su fórmula es $NaOH$.

Su gravedad específica es 2.13.

Peso molecular 40.

Punto de fusión 318 (°C).

Punto de inflamación 1390 (°C).

Es soluble en agua, alcohol y en glicerina.

Su presentación usual es en forma de cristales blancos.

Al disolverse en agua produce calor.

Al contacto con algunos metales produce hidrógeno.

Se utiliza como limpiador de metales (Aluminio), elaboración de aceites y jabón.

Absorbe rápidamente dióxido de carbono y agua del aire.

En cuanto a la solución de cloruro cuproso en amoníaco sus características son las siguientes:

Su fórmula es $CuCl$ o Cu_2Cl_2 .

Su peso molecular es 99.05.

Su forma es a base de cristales hexatetraédricos en un sistema cúbico.

Su temperatura de fusión 422 (°C).

Su temperatura de inflamación 1366 (°C).

Es soluble en ácido hidroclorídrico e hidróxido de amonio.

Se prepara por reducción de soluciones de cloruro cúprico con dióxido de sulfuro.

Los compuestos como el cloruro cuproso son usados en trabajos de laboratorio como absorbentes de monóxido de carbono y oxígeno, como catalizador en síntesis químicas orgánicas e inorgánicas; como condensador de jabones, grasas y aceites; como pigmento y conservador de maderas.

Las soluciones muy concentradas absorben grandes cantidades de gas NO, haciéndola interesante en el control de la contaminación. Ayuda a remover sulfuros y otros compuestos de las gasolinas y aceites.

CAPITULO V. Pruebas.

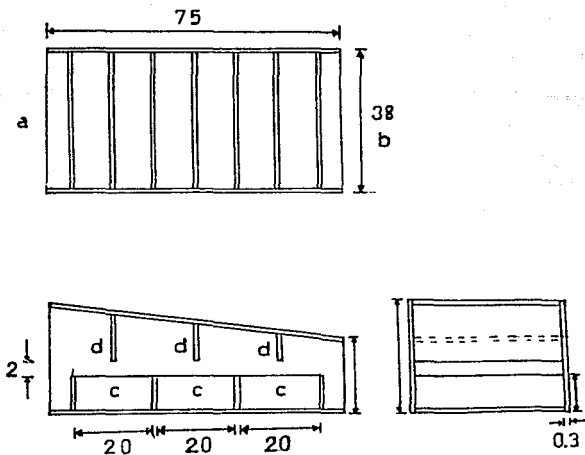
5.1 Modelos experimentales.

Para la realización de las pruebas y caracterización del equipo se optó por la construcción de un modelo las dimensiones del modelo fueron condicionadas por las dimensiones del túnel de viento.

El material elegido para su construcción fue acrílico ya que presenta, resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, no reacciona con las sustancias a emplear, es de fácil manejo, permite visualizar y es de bajo costo.

Para una mejor caracterización del prototipo final se decidió utilizar dos modelos con diferentes características en su diseño, conservando el mismo principio de funcionamiento los cuales se presentan a continuación.

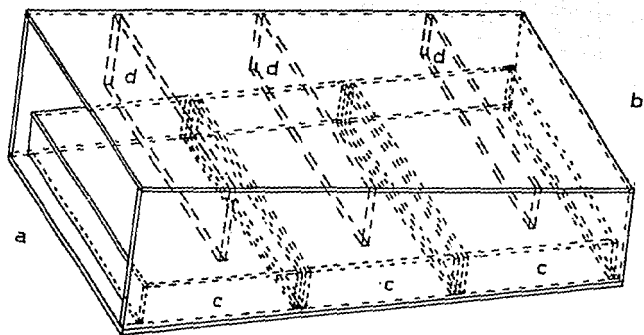
Modelo A.



Acotaciones
en (cm).

- a.- entrada.
- b.- salida.
- c.- compartimentos.
- d.- deflectores.

fig.36 Vistas superior, lateral y frontal del modelo.



- a.- entrada.
- b.- salida.
- c.- compartimentos.
- d.- deflectores.

fig.37 Vista en isométrico del modelo.

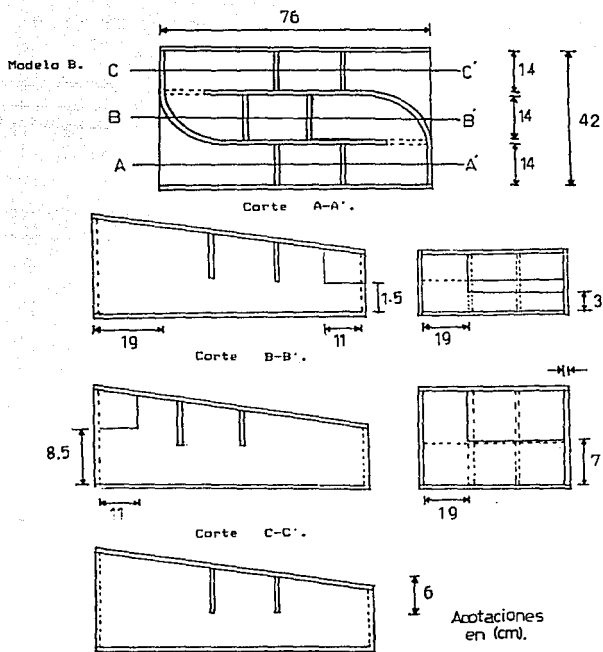
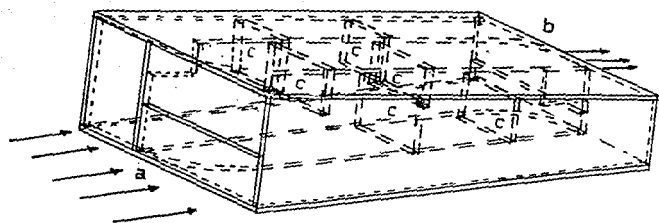


fig.38 Vistas superior, laterales y frontales del modelo.



- a.- entrada.
- b.- salida.
- c.- deflectores.
- d.- compartimentos.

fig.39 Vista en isométrico del modelo.

5.2 Etapa de Pruebas.

Sin duda una etapa importante en cualquier proyecto es la realización de pruebas al modelo, es aquí donde se puede observar si el modelo cumple o no con el objetivo establecido.

Se realizaron una serie de pruebas con el fin de caracterizar al prototipo final, estas pruebas son necesarias debido a que en la literatura no existe información referente a dispositivos que funcionen con líquidos y con aplicación directa a la contaminación.

La secuencia de pruebas realizadas fue la siguiente:

- 1 Pruebas en un túnel de viento para la visualización de flujo de aire dentro del modelo.
- 2 Comportamiento del modelo en condiciones dinámicas.
- 3 Comportamiento del modelo con soluciones en condiciones reales.
- 4 Experimentación del modelo expuesto a la emisión de gases de combustión de un motor a diesel.

5.2.1 Pruebas en túnel de viento para la visualización de flujo de aire dentro del modelo.

Esta prueba consistió en visualizar el comportamiento del flujo de aire a través del modelo; para lograrlo, se optó por utilizar un método que permitiera esto.

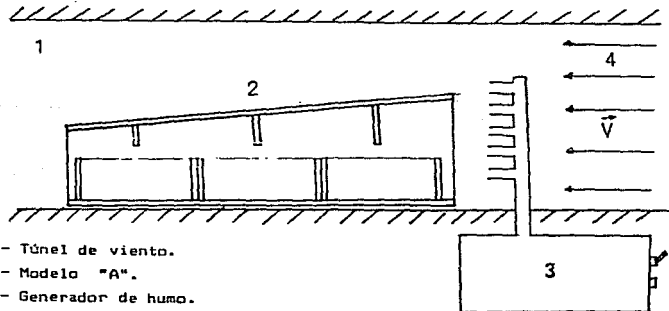
Según la literatura uno de los métodos a utilizar en pruebas aerodinámicas es la visualización con humo por su fácil generación y por que permite establecer líneas de corriente.

Para la realización de dicha prueba se utilizó el generador de humo y el túnel de viento del laboratorio de Termoenergía y Mejoramiento Ambiental de la Facultad de Ingeniería.

Es importante mencionar que en esta etapa los modelos fueron modificándose de acuerdo a lo propuesto, donde se pretende el mayor contacto entre el flujo de aire y las soluciones a utilizar.

Para ello se forzó el paso de una corriente de aire a través del modelo, con una velocidad promedio de 25 km/h ,observándose los siguientes efectos mediante el humo inyectado.

Modelo A.



- 1.- Túnel de viento.
- 2.- Modelo "A".
- 3.- Generador de humo.
- 4.- Flujo de aire. fig.40 Vista lateral.

Al forzar el flujo de aire a través del modelo, se observó una ligera turbulencia y gran estancamiento en la parte superior y posterior de los desviadores, además la mayor parte del flujo de aire siguió una trayectoria horizontal como se muestra en la figura siguiente.

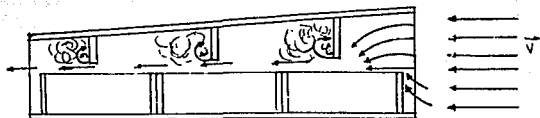


fig.41

De acuerdo a lo anterior se modificó el diseño para dirigir el flujo hacia los compartimientos del modelo. Dicha modificación consistió en instalar desviadores de mayor altura como se muestra en la fig.42

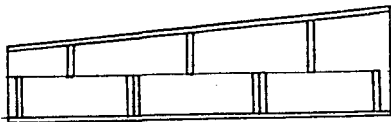


fig.42

Al realizar la prueba se observó una mejora en el comportamiento del flujo, entrando y saliendo de los compartimientos, y con una fuerte turbulencia en la parte posterior de los desviadores como se observa en la fig.43

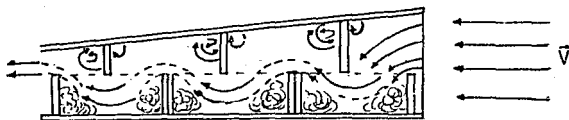


fig.43

En esta etapa ya se logra una mayor turbulencia del aire dentro de los compartimientos y con grandes zonas de estancamiento.

Para lograr un mayor tiempo de residencia del flujo en el interior de los compartimientos, ahora se pretende aumentar la turbulencia dentro de los mismos y para tal efecto, se realizó la siguiente modificación, aumentar la altura de la pared de los compartimiento perpendiculares al flujo del aire, logrando así el efecto deseado.

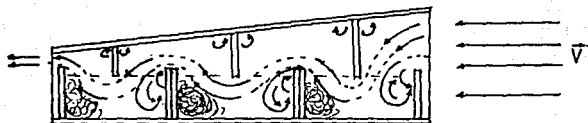


fig.44

Por otra parte, se observó una perturbación del flujo de aire debido al estancamiento generado en la parte inferior, a la recirculación en la parte superior y a la altura de los desviadores. Para disminuir este efecto se modificó el ángulo de los desviadores lográndose así un mejor flujo de aire.

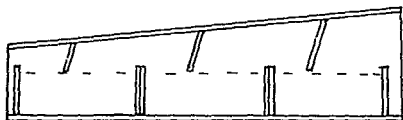


fig.45

Durante las pruebas, se logró tener zonas de estancamientos, de recirculación un mayor flujo de aire, mayor turbulencia y se

sumiento el tiempo de permanencia en el interior de los compartimentos; cumpliéndose así con las condiciones de diseño establecidas.

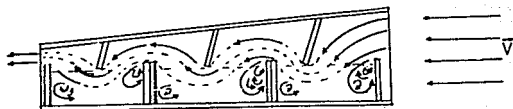
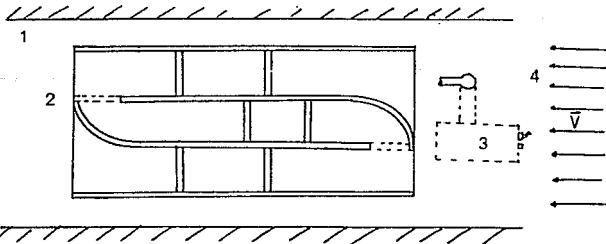


fig.46

Modelo B



- 1.- Túnel de viento.
- 2.- Modelo "B".
- 3.- Generador de humo. fig. 47 Vista superior.
- 4.- Flujo de aire.

Durante las pruebas se observó que, en este Modelo, el flujo de aire tiene un mayor recorrido, presenta estrangulamiento a través de las cámaras, turbulencias y estancamientos en la parte posterior de los desviadores, sin embargo, estos últimos efectos se desean en la parte inferior. Para fomentarlo y de acuerdo a lo observado en el modelo A se decidió aumentar la altura de los desviadores superiores y dividir cada compartimiento en cuatro partes para mejorar el efecto de entrada y salida en cada uno de los subcompartimientos, además se aumentó el área de paso entre cámaras.

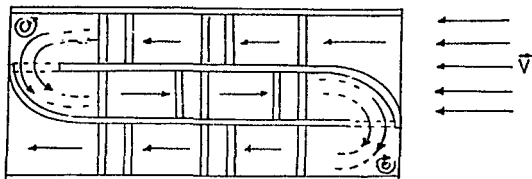


fig.4B

En las siguientes figuras se muestran los cortes transversales de los compartimientos así como sus correspondientes efectos.

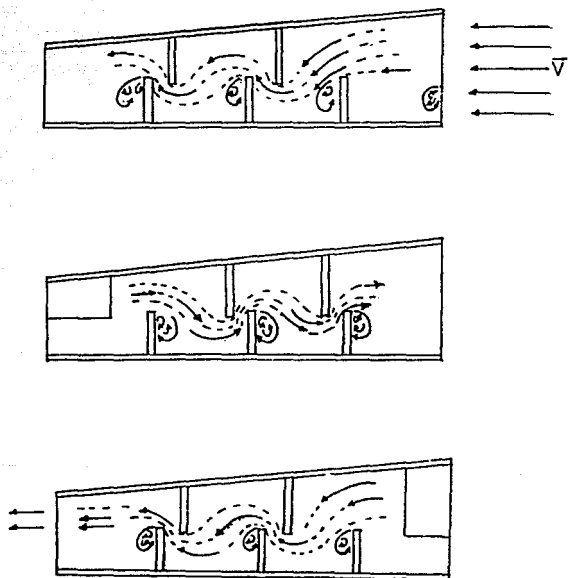


fig.49

Cabe mencionar que en este modelo no fue necesario un ángulo de inclinación en los desviadores, pues la distancia que existe entre el desviador y la entrada al siguiente compartimiento es suficiente para que no exista demasiada estrangulación.

De acuerdo a los resultados obtenidos en ambos modelos, se garantiza que el flujo de aire entrará en contacto con las soluciones a emplear. El siguiente paso fue realizar otras pruebas simulando que los modelos contienen soluciones, es decir, observar el flujo de aire en condiciones más reales.

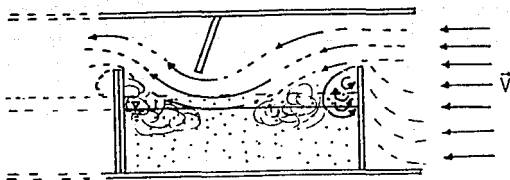
Dichas pruebas consistieron en poner agua en cada uno de los compartimientos, el nivel de agua en el modelo A fue $2/3$ de su altura, mientras que en el modelo B los niveles fueron $2/3$ de la altura en los compartimientos grandes y $1/2$ de la altura en los pequeños, acompañados de trozos de esponja.

Es importante mencionar que el uso de trozos de esponja ayudará a tener mayor área de contacto y como consecuencia mayor área de reacción entre aire y soluciones, servirá como elemento amortiguador cuando el modelo se instale en un vehículo.

Una vez acondicionados los modelos, se procedió a instalarlos en el túnel de viento. Al forzar el flujo de aire, a través de cada uno de los modelos, se observó gran turbulencia al contacto del aire con la superficie del fluido, provocado por el contacto con los trozos de esponja.

Este efecto fue observado en todo el recorrido que sufre el aire dentro de cada modelo lo cual cumple con el objetivo establecido.

Modelo A



Modelo B.

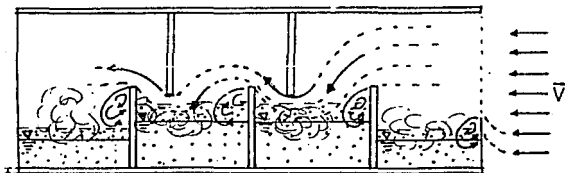


fig.50

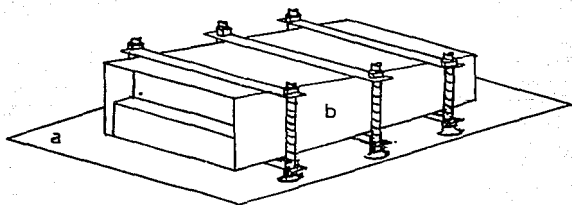
Al finalizar las pruebas y considerando los resultados obtenidos, se decidió pasar a la segunda etapa de pruebas; someter los modelos a condiciones reales de movimiento.

5.2.2 Comportamiento del modelo en condiciones dinámicas.

Esta prueba tiene por finalidad asegurar que las soluciones no se derramen al tener movimiento el modelo; considerando que estará instalado en un vehículo y al derramarse podrían ocasionar algún accidente.

Por esta razón, es importante observar el comportamiento dinámico del modelo y determinar si el diseño es adecuado o requiere modificaciones para que sea seguro y confiable. La prueba consistió en instalar los modelos acondicionados con trozos de esponja y agua, como se hizo en las pruebas en el túnel del viento, en el toldo de un automóvil V.W. Sedán Atlantic modelo 1985.

Debido al espacio disponible se instaló primero el modelo A mediante una estructura acondicionada para nivelar al modelo, como se muestra en la fig.51



a.- toldo.

b.- modelo.

c.- soportes:

1.- Varilla roscada.

2.- Tuerca.

3.- Solera.

4.- Base de goma.

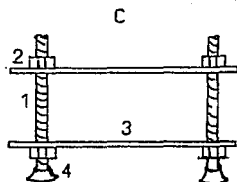


fig.51

Posteriormente se procedió a realizar diferentes recorridos simulando condiciones adversas como son baches, pendientes, curvas de pequeño radio, topes, frenado y arranques bruscos, alta velocidad, terrenos irregulares, cambios de velocidad, etc.

Durante ésta prueba se observaron derrames en las paredes laterales de los compartimientos por lo cual se decidió aumentar la altura de los mismos. Con respecto a los niveles de agua

utilizados se observó que hacia el frente y en la parte posterior no hubo derrames, pero si gran movimiento del fluido dentro del compartimiento, por lo cual se decidió dividir cada compartimiento en dos y así amortiguar dicho movimiento, las modificaciones realizadas se muestran a continuación.

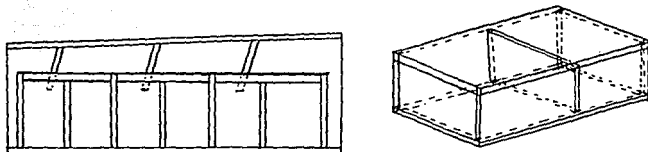


fig.52

Con este cambio se realizó nuevamente la prueba anterior y no se presentaron derrames.

Respecto al modelo B se observaron derrames en los compartimientos de entrada y salida, debido al nivel de los fluidos por lo cual se decidió disminuir el nivel a la mitad para evitarlo, este cambio también se realizó en los compartimientos que intercomunican a las cámaras para evitar una posible mezcla entre soluciones provocadas por el constante movimiento del modelo. Después de las pruebas se determinó que no habría derrames y se decidió pasar a utilizar las soluciones reales.

5.2.3 Comportamiento del modelo con soluciones en condiciones reales.

Para realizar estas pruebas es necesario acondicionar los modelos con las soluciones seleccionadas, instalarlos nuevamente en un vehículo y observar las reacciones químicas entre el aire contaminado y las soluciones.

Resulta importante mencionar que las soluciones son difíciles de adquirir por lo cual se menciona en el apéndice A la forma de preparación.

Una vez preparadas las soluciones se procedió a la realización de las correspondientes pruebas en un vehículo, en este caso se utilizó un Microbus modelo 1990 marca G.M. y con carrocería Havre.

Primeramente se estableció un período de trabajo, durante el cual los modelos permanecerían instalados en el microbus. Se pensó en una semana, pues cada jueves es cuando el microbus deja de circular de acuerdo al programa HOY NO CIRCULA. Sujetos a esta restricción se optó por instalar los modelos solamente con agua y trozos de esponja para observar los efectos que se producen en una semana de trabajo. Los modelos se instalaron con ayuda de soportes anteriormente utilizados en el automóvil, con la variante de que en el microbus dichos soportes fueron fijados directamente al toldo. Los niveles de agua dentro de los modelos fueron determinados en la prueba anterior, de esta manera se tiene:

Modelo A

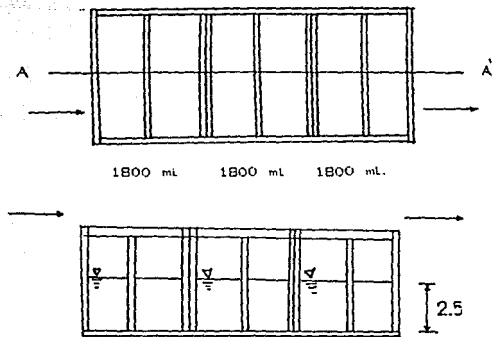
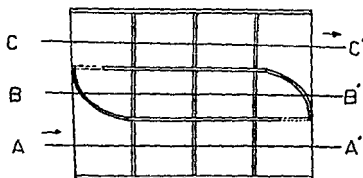


fig.53

Modelo B



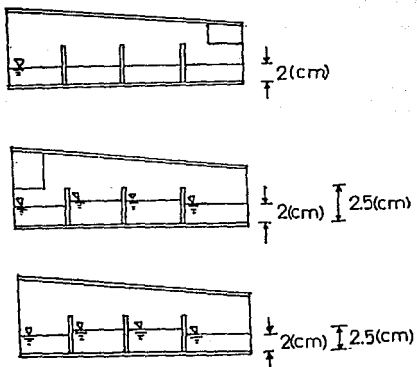
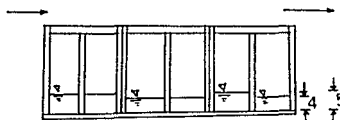
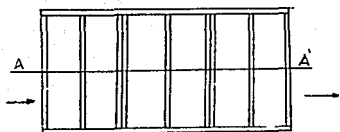


fig.54

Al finalizar la primera semana se observó lo siguiente:

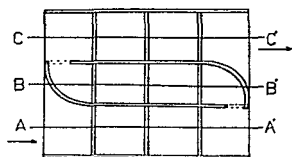
- 1) Los niveles de agua disminuyeron considerablemente, como se muestra en la fig.55

Modelo A.

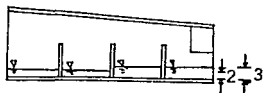


Anotación en (mm).

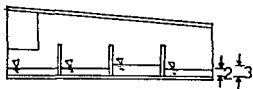
Modelo B



Corte A-A'.



Corte B-B'.



Corte C-C'.

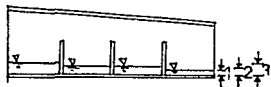


fig.55

2) Por otra parte, la cantidad de partículas sólidas (hollín) adheridas sobre la superficie de la esponja, fue considerable, sobre todo en la parte donde los desviadores actúan. Además, parte

de dichas partículas se depositaron en el fondo.

En el modelo A se observó gran retención de partículas en el primer compartimiento, en el segundo disminuyó y en el tercero prácticamente no hubo; de acuerdo a esto, se puede decir que en esta primera etapa, el modelo funcionó.

El modelo B por su parte también presentó retención de partículas en las áreas donde actúan los desviadores, con la diferencia de que la cantidad es menor respecto al modelo A, pero más constante a lo largo de todo el trayecto; además al incidir el flujo de aire en las paredes, algunas zonas presentaron mayor cantidad de partículas adheridas respecto a las del modelo A, en este caso el modelo B también funciona.

Cabe mencionar que se esperaba un efecto mayor en el modelo B pues su diseño permite un mayor tiempo de residencia dentro del mismo, comparado con el modelo A.

La prueba siguiente es acondicionar los modelos con las soluciones e instalarlos nuevamente en el microbus.

En esta prueba se trabajó primero con el modelo A, las soluciones se colocaron de acuerdo al siguiente orden y proporciones.

Compartimiento	Soluciones	Cantidad	Nivel
1	Agua	ml 1800	cm 2.5
2	CuCl amoniacal	1000	1.5
3	NaOH	900	1.4

Segun las pruebas anteriores la esponja permitio aumentar el area de contacto, por tal motivo, se decidio utilizarla tambien durante esta prueba.

Es importante resaltar que los niveles de soluciones se modificaron respecto a la última prueba; principalmente porque se desea evitar derrames y por consecuencia algún accidente.

Al finalizar el periodo de trabajo se procedió a la revisión del modelo, los resultados obtenidos fueron muy representativos.

Se apreciaron cambios en los niveles de las soluciones, los cambios se muestran en la siguiente tabla.

Compartimiento	Solución	Nivel (mm)	
		a	b
1	Agua	7	7
2	CuCl Amoniaca	1.8	1.3
3	NaOH	2.5	2.3

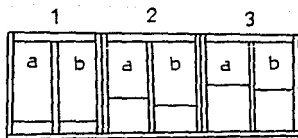


fig.56

En el primer compartimiento se observó gran cantidad de hollín adherido en la superficie, siendo más representativo donde actúa el desviador.

Por su parte, el segundo compartimiento mostró pequeñas aglomeraciones con una coloración entre blanco y azul, además la solución perdió coloración siendo de un tono ligeramente azul.

En el caso del tercer compartimiento también se observaron cambios, el principal fue la aparición de partículas blancas semejantes a la harina adheridas sobre las esponjas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, resulta evidente, que las soluciones reaccionaron con algunos componentes del aire y por tanto cambiaron sus propiedades originales. Debido a esto se decidió realizar pruebas para determinar algún cambio en las soluciones. La prueba consistió en tomar una muestra de cada una de las soluciones originales y después de una semana de trabajo se midió con un multímetro la resistencia eléctrica (RE) de cada solución introduciendo las puntas de prueba dentro de cada una de las mismas. Después se colocó, en cada solución, una tira de papel indicador universal para determinar su PH .

Las lecturas obtenidas fueron las siguientes:

Soluciones	Originales		1 semana después	
	Re (Ω)	P.H.	Re (Ω)	P.H.
CuCl amoniacal (recien preparada)	34	3		
CuCl amoniacal (1 semana reposo)	42	3	22	8
CuCl amoniacal (2 semanas reposo)	45	2		
NaOH	90	14	135	14

Nota:

Para esta primera prueba del modelo "A", se utilizó la solución amoniacal con una semana de reposo.

Por su parte el NaOH no sufrió cambios en su resistencia eléctrica con el paso del tiempo.

Segun los resultados mostrados se observan cambios tanto en la resistencia eléctrica como en el valor del PH, lo cual indica que necesariamente hubo reacciones químicas entre aire y las soluciones.

Posteriormente, se reacondicionó el modelo con nuevas soluciones y trozos de esponja; para esta segunda semana el modelo "B" también se acondicionó de igual manera para iniciar su primera prueba bajo estas condiciones.

Al finalizar la segunda semana para el modelo "A" se procedió a la revisión del modelo. Nuevamente los resultados fueron representativos y similares a los obtenidos en la primera prueba.

En ésta, también se observaron cambios en los niveles; en el primer compartimiento se observó ausencia total de agua, debido

seguramente, al efecto de evaporación. En toda la superficie y mas aun, donde actúan los desviadores se presentó una gran cantidad de hollín adherido.

En el segundo compartimiento se observó una gran aglomeración en la superficie de la esponja la cual quedó totalmente seca, dura y de un tono blanco; por lo que respecta a la solución amoniaca, el compartimiento resultó totalmente seco, quizá por las condiciones climatológicas y por las reacciones mismas entre el aire y la solución.

Los resultados observados en el tercer compartimiento fueron los siguientes:

El nivel de solución disminuyó en gran parte, la esponja sufrió una ligera aglomeración y gran cantidad de partículas blancas aparecieron adheridas en la superficie.

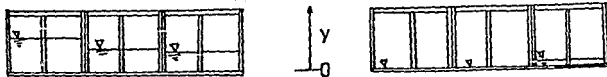


fig.57

También en esta prueba se midieron resistencia eléctrica y PH de las soluciones, las lecturas se muestran en la siguiente tabla.

Soluciones	Originales		1 semana despues.	
	Re (Ω)	P.H.	Re (Ω)	P.H.
CuCl amoniacal (2 semanas reposo)	45	2	-	-
NaOH	09	14	120	12

De acuerdo a los resultados obtenidos, similares a los de la primera prueba se deduce que, durante el tiempo de trabajo, necesariamente se llevan a cabo reacciones químicas dentro del modelo y se logra la eliminación de algunos contaminantes del aire.

El modelo "B" también se acondicionó con las soluciones seleccionadas. Debido a sus características físicas y a su construcción se decidió disminuir los volúmenes de las soluciones en comparación a las utilizadas cuando el equipo se instaló solamente con agua, ésto se realizó también por seguridad.

Las condiciones iniciales fueron las siguientes:

Solución	Cantidad (ml)	
Agua	1	700
	2	500
	3	500
	4	300
CuCl amoniacal	5	300
	6	300
	7	300
	8	200
NaOH	9	200
	10	200
	11	200
	12	100

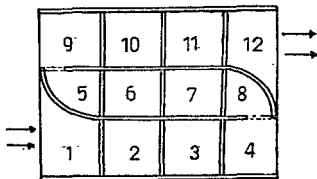


fig.5B

En este caso tambien se utilizaron trozos de esponja como elemento para incrementar el area de contacto de las soluciones con el aire.

Al finalizar la semana de prueba se observó el modelo "B", los resultados fueron similares a los obtenidos en el modelo "A", pero en menor proporcion. Los compartimientos mostraron cambios en sus correspondientes niveles de solución; al igual que en el modelo "A", estos disminuyeron. A continuacion se muestran los cambios obtenidos.

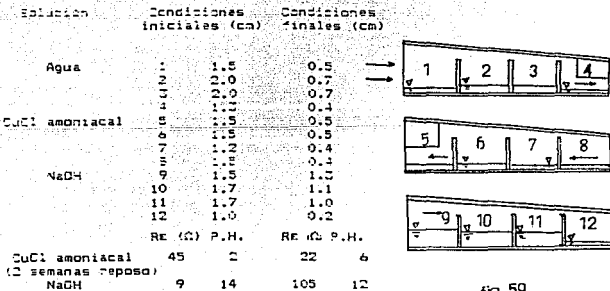


fig. 59

Respecto a las características físicas observadas se tiene; en el compartimiento correspondiente al agua se observó hollín adherido en la superficie de las esponjas sobre todo en la parte

donde actúan los desviadores, el efecto fue mínimo respecto a lo observado en el modelo "A".

En el compartimiento con solución amoniacal, se observaron pequeñas aglomeraciones en la superficie, en un tono blanco y sobre todo en la parte donde actúan los desviadores; la solución por su parte, se tornó a un color ligeramente azul y transparente.

En el compartimiento donde se colocó sosa se observaron partículas blancas adheridas en la superficie de las esponjas, el efecto fue mínimo, sólo en algunas zonas se presentó. Otro aspecto importante es la aparición de partículas sólidas adheridas en algunas zonas de las paredes del modelo, siendo en mayor cantidad en aquellas donde el aire logra pasar hacia el compartimiento contiguo.

Según los resultados obtenidos, los efectos mostrados por el modelo "B" son menores en comparación con los mostrados por el modelo "A"; debido quizá al paso del aire a través del modelo "B" pues ambos modelos trabajaron bajo condiciones similares, contemplando además igual tiempo de trabajo y utilizando las mismas soluciones. De acuerdo a lo anterior el modelo "B" presenta un menor gasto por lo cual sus efectos son menores, sin embargo, ambos modelos funcionan, por lo cual cumplen con el objetivo establecido.

Por otra parte, es importante mencionar que por el tiempo de

disponibilidad del microbús y para comprobar los resultados obtenidos se optó por realizar una prueba extra para tener una mejor caracterización de los modelos. La prueba elegida fue la experimentación de los modelos directamente a la salida de un escape de un motor a diesel.

5.2.4 Experimentación del modelo expuesto a la emisión de gases de combustión de un motor a diesel.

Hasta el momento se han realizado una serie de pruebas que permiten la caracterización de los modelos en condiciones reales. Para esta prueba se utilizó el motor a diesel del Departamento de Termoenergía y Mejoramiento Ambiental de la Facultad de Ingeniería, la prueba consistió en:

1) Acondicionar los modelos con las soluciones acompañadas nuevamente de trozos de esponja y bajo las mismas condiciones, como se muestra a continuación.

Solución	Cantidad (ml)	Nivel (cm)
Agua	1800	2.5
CuCl amoniacal	1000	1.5
NaOH	800	1.3



fig.60

Solución	Cantidad (ml)
Agua	1 700
	2 500
	3 500
	4 300
CuCl amoniacal	5 300
	6 300
	7 300
	8 200
NaOH	9 200
	10 200
	11 200
	12 100

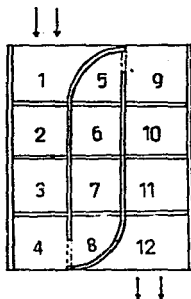


fig.61

2) Instalar los modelos directamente en la salida del escape del motor a diesel. Es importante mencionar que se desea la experimentación simultánea de ambos modelos, por tal motivo se modificó la salida del escape para llevar los gases de combustión hacia los dos modelos. La siguiente figura muestra como se realizó la instalación .

Debido a las altas temperaturas de los gases de combustión se consideró una hora como tiempo de prueba para no causar problemas a los materiales (acrílico) de los modelos.

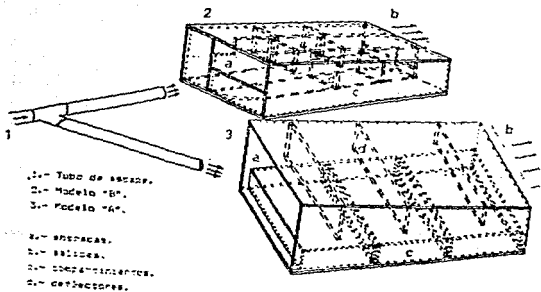


fig. 62

3) El motor se puso en marcha y después de un tiempo de estabilización del mismo se procedió a tomar lecturas

Modelo	V _{gst} (m/s)	V _{gam} (m/s)	T _{ga} (°C)	Q(m ³ /s)
A	31.0	4.0	152	0.0780
B	6.5	0.3	152	0.0034

Donde:

V_{gst}; velocidad de gases a la salida del tubo (m/s).

V_{gam}; velocidad de gases a la salida del modelo (m/s).

T_{ga}; temperatura de gases a la salida del múltiple (°C).

Q ; gasto de aire del modelo (m³/s).

Las lecturas de velocidad se realizaron con ayuda de un tubo de Pitot. Este se coloca directamente en el lugar de prueba y se registra el valor de la velocidad (m/s).

4) Al finalizar el tiempo de prueba se procedió a la revisión de los modelos.

El modelo "A".- En el primer compartimiento se observó una gran cantidad de hollín adherido a las esponjas y la cantidad de agua disminuyó considerablemente.

En el segundo compartimiento se observaron pequeñas aglomeraciones en la superficie de las esponjas en color azul

claro, por su parte la cantidad de solución amoniacal disminuyó aproximadamente a la mitad.

Por su parte el tercer compartimiento muestra partículas blancas adheridas en la superficie, la cantidad de solución también disminuyó, estos efectos son más fuertes en la zona donde actúan los deflectores.

En los tres compartimientos se observó un cambio en el color original de las esponjas, con tendencia hacia el naranja y el café, este efecto se atribuye a la temperatura alta de los gases.

Modelo "B".- Por su parte este modelo presentó efectos similares a los observados en el modelo "A", aunque de menor intensidad. Debe señalarse que el gasto de gases de este modelo es menor respecto al modelo "A". Esto se deduce de las lecturas obtenidas, pues las lecturas de V_{ga} no son iguales y esto trae como consecuencia gastos diferentes.

Por lo anterior los efectos observados fueron menores a lo observado en el modelo "A".

En el compartimiento correspondiente al agua se observaron partículas de hollín adheridas en la superficie de las esponjas.

En el siguiente compartimiento, donde se colocó la solución amoniacal, se observaron aglomeraciones en la superficie de color azul.

Por su parte el último compartimiento, donde se tiene sosa,

se observó una pequeña cantidad de partículas blancas adheridas en la superficie y nuevamente estos tres efectos son más pronunciados donde actúan los desviadores.

También aquí las esponjas en los tres compartimientos, muestran un cambio en su color debido a la alta temperatura de los gases. Respecto a las cantidades de soluciones no se aprecian grandes cambios.

Según los resultados observados, parecen representativos y buenos, sin embargo, se decidió ampliar la prueba; nuevamente el motor se puso en marcha y después de un tiempo de estabilización del mismo se procedió a tomar lecturas.

Modelo	V_{gat} (m/s)	V_{gam} (m/s)	T_g ($^{\circ}$ C)	Q (m^3/s)
A	18	2.5	125	0.0487
B	5	0.2	125	0.0023

Al finalizar el tiempo de pruebas se procedió a la revisión de los modelos.

Modelo "A". Los efectos obtenidos en la prueba anterior se incrementaron, la cantidad de hollín adherido en las esponjas, las aglomeraciones de color azul sobre la superficie de las mismas y la cantidad de partículas blancas se incrementaron, siendo estos

efectos más pronunciados en las zonas donde actúan los desviadores.

Las esponjas, por su parte, mostraron los efectos de la temperatura; siendo éstos de mayor intensidad.

Después de esta prueba se apreciaron cambios en los niveles de las soluciones. A continuación se muestra la diferencia de niveles antes de las pruebas y después de las mismas:

Solución	Conds. Iniciales nivel (mm)	Conds. Finales nivel (mm)
Agua	25.0	2.0
CuCl amoniacal	15.0	3.0
NaOH	14.0	10.0

Estos cambios se deben, en gran parte al gasto que circula a través de los modelos y a la temperatura de los gases.

Modelo "B". Los efectos obtenidos después de esta prueba fueron similares a los obtenidos en la prueba anterior y de hecho, se incrementaron.

Nuevamente la cantidad de hollín en las esponjas, las aglomeraciones de color azul sobre la superficie de las esponjas y la cantidad de partículas blancas fueron más pronunciados donde actúan los desviadores.

También en este modelo se apreciaron cambios en los niveles de la solución después de las pruebas.

A continuación se muestran estos cambios.

Solución	Conds. Iniciales nivel (mm)		Conds. Finales nivel (mm)	
Agua	1	15.0	3	
	2	20.0	3	
	3	20.0	5	
	4	13.0	5	
CuCl amoniacal	5	15.0	13	
	6	18.0	12	
	7	12.0	9	
	8	15.0	8	
NaOH	9	15.0	13	
	10	17.0	12	
	11	17.0	10	
	12	10.0	6	

Como se puede observar estos cambios son pequeños, sobre todo si se comparan con los obtenidos en el modelo "A", esto se debe a que el gasto que circula a través de este modelo es menor.

Como prueba complementaria se midieron resistencias eléctricas y P.H de las soluciones, antes y después de la prueba.

Las lecturas se muestran en la siguientes tablas.

MODELO A.

Soluciones	Originales		Después de prueba	
	R _x (Ω)	P.H.	R _x (Ω)	P.H.
CuCl amoniacal (2 semanas reposo)	45	2	19	5
NaOH	90	14	100	11

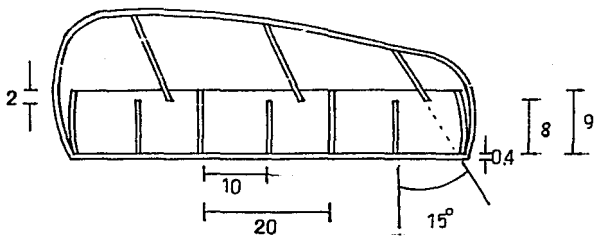
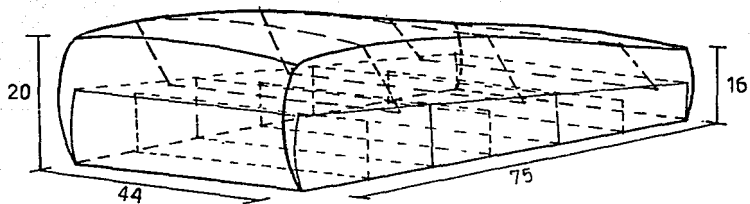
MODELO B

Soluciones	Originales		Después de prueba	
	R _c (Ω)	P.H.	R _c (Ω)	P.H.
CuCl amoniacal (2 semanas de reposo)	45	2	18	4
NaOH	90	14	200	12

Según los resultados obtenidos, (similares a los de las pruebas anteriores) se observan cambios en las propiedades de las soluciones debido necesariamente a reacciones químicas dentro de ambos modelos.

Considerando los resultados obtenidos se puede decir que se tiene un buen funcionamiento de ambos modelos por lo cual no fue necesario realizar más pruebas.

Con todo lo anterior se pueden establecer las dimensiones y características del modelo final. Tomando en cuenta un diseño aerodinámico, estético y funcional; se propone el siguiente modelo.



Acotaciones
en (cm),

fig.63

CAPITULO VI. Conclusiones y Recomendaciones.

Atendiendo a los resultados obtenidos se puede decir que los modelos cumplen con el objetivo establecido.

Cada una de las pruebas realizadas fue importante debido a que marcaron la pauta para obtener el mejor modelo.

La idea de trabajar con dos modelos surge de la necesidad de proponer alternativas y poder hacer comparaciones.

De acuerdo a los resultados obtenidos se deduce que se llevaron a cabo reacciones químicas entre los componentes del aire y las soluciones seleccionadas. Dichas reacciones se presentaron a través de sus efectos; por ejemplo, partículas sólidas (hollín) adheridas en la superficie de las esponjas, aglomeraciones presentadas en la superficie de las mismas así como la aparición de partículas blancas. Se notaron cambios en las propiedades físicas y químicas de las soluciones. También se apreciaron cambios en las características físicas de las esponjas.

En conjunto, todos estos efectos, marcan una idea de un buen funcionamiento de los modelos. Sin embargo, por razones de diseño y por los efectos observados se puede decir que el modelo "A" es más funcional ya que éstas últimas son más fuerte en dicho modelo.

Respecto a la eficiencia del equipo no se logra establecer debido a que, por razones técnicas resultó difícil determinar

cuales reacciones se llevan a cabo, además, de que existen diferentes contaminantes en el aire atmosférico.

Por otro lado, no se tenía equipo disponible para la medición de contaminantes que pudiese ser utilizado. Por tal motivo se decidió medir parámetros que permitieran conocer cambios en las propiedades de las soluciones utilizadas.

Es importante considerar el impacto que podrían causar si los modelos son utilizados en gran escala, por ejemplo un vehículo al desplazarse contamina, con el dispositivo implementado también limpiaría el aire al moverse.

En términos generales se puede decir que se cumplió con el objetivo establecido, retirar algunos contaminantes atmosféricos mediante un dispositivo sencillo y práctico.

Por otra parte y de acuerdo a lo observado es de suma importancia mencionar algunas recomendaciones.

Respecto a las soluciones; su preparación debe ser al aire libre, lejos del fuego, se deben utilizar guantes de hule para protegerse de algún posible contacto, si esto sucede debe lavarse inmediatamente con abundante agua, deben conservarse en recipientes de vidrio, debe utilizarse cubre bocas o algún medio que no permita la inhalación de vapores y gases que se desprenden durante el proceso.

Todo lo anterior se debe a que se trata de soluciones ácidas

y corrosivas las cuales en algún momento pueden causar quemaduras o irritaciones en la piel, también pueden causar problemas a recubrimientos; por ejemplo, pinturas. Son de uso delicado y puede representar peligro principalmente si se considera una situación crítica, por ejemplo, un accidente del vehículo donde se encuentre instalado, esto traería como consecuencia el derrame de las sustancias.

Por tal motivo se propone que el modelo podría acondicionarse exclusivamente con agua y esto representaría menor peligro. Evidentemente los resultados cambiarían pues se atendería a un menor número de contaminantes, como son las partículas sólidas y el Ozono, sin embargo, se sigue cumpliendo con el objetivo aunque sea en menor proporción.

Independientemente de utilizar agua o soluciones, como sucedió durante la etapa de pruebas, las cantidades de las mismas deben mantenerse en el mismo nivel para ello se pueden implementar dispositivos extras que contengan una cierta cantidad de solución y a través de vasos comunicantes alimentar a los diferentes compartimientos.

Es evidente que en algún momento debe realizarse un mantenimiento del equipo, para tal propósito se deben cambiar las esponjas principalmente porque tienden a saturarse debido a las reacciones que se producen.

Si se desea puede quitar los tornillos de la parte media y de la parte inferior del modelo para retirarlo del vehículo y poder realizar las operaciones de limpieza de una forma más cómoda.

Resulta interesante saber que hacer con los residuos o productos generados pues de alguna manera y bajo el nombre de "basura" estos son de alguna forma contaminantes que en la actualidad puede ser procesada y manejada.

Por otra parte, es más fácil de manejar 1000 partículas sólidas atrapadas en 2 litros de agua que dispersas en 1000 m³ de aire.

Recomendaciones.

De acuerdo al principio de funcionamiento resulta importante recordar que el prototipo final requiere un flujo de aire continuo, por tal motivo requiere de sistemas que puedan proporcionar dicho gasto de aire. Esto se puede lograr en cualquier tipo de vehículo particular o del transporte colectivo; por ejemplo, microbuses, camiones de ruta 100, vagones del metro, tren ligero, trolebús, etc.

APENDICE A

A continuación se menciona la forma de preparación de las soluciones utilizadas:

Hidróxido de Sodio

Para lograr la absorción del CO_2 es necesario una disolución acuosa de hidróxido de sodio al 30 %, se tomó como base un litro de agua y se decidió realizar la mezcla sosa-agua en por ciento en peso. Primero se pesó un frasco cuya masa (M_f) es 490 gr., se midió un litro de agua con un vaso de precipitado y se vació en el frasco. La masa del frasco más la masa de agua ($M_f\text{-H}_2\text{O}$) es 1430 gr.

$$\text{Así} \quad M_{f\text{-agua}} = M_{\text{agua}} + M_f \quad \text{donde:}$$

$$M_{\text{agua}} = M_{f\text{-agua}} - M_f$$

$$= 1430 - 490 \quad \therefore M_{\text{agua}} = 940$$

Ahora $M_{\text{agua}} = 100\%$ de la cual se utilizará un 70 %, de ésta forma y por regla de tres:

$$940 - 100\%$$

$$x - 70\% \quad \therefore x = 658 \text{ grs. de agua}$$

$$\text{El } 30\% \text{ de sosa es } 940(\text{gr}) - 658(\text{gr}) = 282(\text{gr})$$

Finalmente la disolución será:

$$(658(\text{gr}) \text{ de Agua}) + (282(\text{gr}) \text{ de NaOH})$$

Es importante mencionar que el agua debe agregarse a la sosa, pues se trata de una reacción exotérmica, siendo de mayor intensidad si la sosa se agrega al agua.

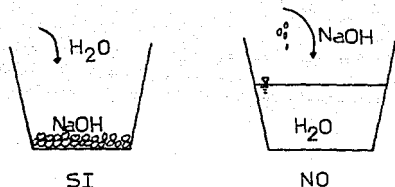


fig.65

Cloruro Cuproso en Amoniac (cloruro de cobre (I) amoniacal).

El cloruro de cobre (I) amoniacal se prepara agitando en un frasco 200 (gr.) de CuCl con una disolución de 250 (gr.) NH_4Cl en 750 ml. de agua y añadiendo por cada tres volúmenes de esta disolución un volumen de amoniac de p.e = 0.91. Para conservar activa ésta disolución, se deben colocar tanto en los frasco donde se guarde como en los recipientes donde se utilice, pedazos de cobre.

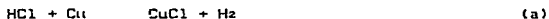
Es importante mencionar que el CuCl también se preparó, al mezclar HCl y Cu , antes de realizar la mezcla, el HCl se diluye en agua para hacerlo más reactivo y lograr reacciones posteriores rapidas. Basta con una disolución de HCl en agua al 5 % en volumen.

Al realizar la mezcla, el HCl debe agregarse al agua, de lo contrario resulta ser una reacción brusca.

El HCl debe agregarse poco a poco, pues al contacto con el agua genera calor.

Posteriormente agregar a la disolución trozos de Cu, para formar finalmente el CuCl, para determinar la cantidad se procedió a establecer la ecuación química de la reacción y a través de la solución de la misma obtener las cantidades de HCl y Cu necesarias.

Así:



al balancearlas



$$\text{Como } M = (M)(N) \quad (\text{c})$$

donde: M = Masa (gr.)

M = Peso molecular (gr/gr-mol)

N = Núm. de moles (moles)

y aplicando la ecuación (c) a la (b) se tiene:

$$2(1 + 35) + 2(64)$$

$$2(36) + 128$$

$$72 + 128 = 200 \text{ gr.}$$

Para la mezcla son necesarios:

72 (gr) de HCl al 5 % y

128 (gr) de Cu en trozos

De esta manera se tiene el CuCl.

recibido una denominación especial. Se la llama potencial hidrógeno y se la designa con el símbolo P.H., definida por

$$P.H. = -\log (H^+)C$$

Ahora; se tiene,

Solución Ácida (HCl 1 mol)	P.H. = 0
Solución neutra	P.H. = 7
Solución base (NaOH 1 mol)	P.H. = 14

De ésta manera a pequeños valores del P.H. corresponden concentraciones de (H^+) relativamente grandes.

El P.H. representa una forma muy práctica de tratar la acidez de las soluciones acuosas. Para determinar el P.H. se utilizan indicadores; por ejemplo, el papel tornasol permite decidir si una solución es ácida, alcalina o neutra, por el color que toma.

Existen muchos otros indicadores que proporcionan una información más detallada sobre el P.H. de la solución. los indicadores que se emplean en la actualidad son en general productos orgánicos sintéticos, pero existen diversos indicadores naturales cuyo color depende del P.H. de la solución. En la tabla siguiente se muestran algunos.

Comportamiento de varios indicadores para los distintos valores del pH

INDICADOR	Valor del pH													Concentración del indicador por 100	Clase de indicador en 10 c.c.	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Violenta cristalizado	verde	verde azulado	azul	violado											0,05	3-8
Tropaeolina OO		rojo	rojo cárneo	amarillo											0,01	3-5
Benceno azo fenil amina			rojo	anaranjado											0,02	5-10
Anaranjado de metilo			rojo	rojo naranja	anaranjado	amarillo									0,01	3-5
Rojo de metilo				rojo violado	rojo	anaranjado	amarillo								0,02	4
Paranitrofenol						incoloro	verdoso	amarillo							0,04	3-20
Acido rosólico							amarillo	rosado	rojo						0,05	3-5
Anaranjado I								amarillo	rojo anaranjado	rojo					0,01	4-10
Fenolftaleína									incoloro	rosado	rojo				0,05	3-20
Timolftaleína											incoloro	azul			0,01	3-20
Tropaeolina O												amarillo verdoso	anaranjado		0,01	5-10
Indicador universal B. H.				rojo pálido	rojo	rojo anaranjado	anaranjado	amarillo verdoso	verde	azul verdoso	violado	violado rojizo				5

Otra forma de medir el P.H. de una solución es utilizar el llamado papel indicador universal. Su presentación es a base de tiras plásticas con pequeños trozos de papel, en diferentes coloraciones, pegadas sobre las mismas; estas coloraciones correponden a un valor P.H.= 7 (solución neutra). También contiene una escala de diferentes colores y de acuerdo a ellos se puede determinar si la solución utilizada cambio a una base o a un Ácido, finalmente y de acuerdo a los colores obtenidos después de alguna prueba, se determina por semejanza entre colores el valor de P.H.

Bibliografía.

1. Amos Turk.
Ecología, contaminación y medio ambiente.
Ed. Interamericana. México, 1987.
Pags. 83-112.
2. Bermejo Francisco.
Química analítica general cuantitativa e instrumental.
Ed. Paraninfo S.A. Madrid. 1991.
Pags. 594-600, Vol.1; 1390-1391, Vol 2.
3. Barrow Gordon.
Química general.
Ed. Reverté S.A. Barcelona, 1974.
Pags. 424-427.
4. Calvet Enrique.
Química general aplicada a la industria con prácticas de laboratorio.
Salvat editores, Barcelona.
3ra. edición, 1958. Pags. 432-437, Vol. 1

5. Henry C. Perkins.

Air pollution.

Ed. Mc Graw-Hill, U.S.A. 1974

Pags. 14-32.

6. Faires.

Termodinámica.

Ed. U.T.E.H.A., México 1973.

2da. edición. pags. 588-589

7. Kenneth Wark.

Air pollution

Ed. Harper, N.Y. 1981.

Pags. 2-35, 143-235, 255-333.

8. Kirk-Othmer.

Encyclopedia of chemical technology.

Ed. The interscience encyclopedia INC, N.Y. 1949.

4ta. edición. Pag. 737, Vol.4

9. Kirk-Othmer.

Encyclopedia of chemical technology.

Ed. John Wiley & Sons, N.Y. 1979

3ra edición. Pags. 104, 469-470, Vol.7.

10. Ross R.D

La industria y la contaminación del aire.

Ed. Diana. México, 1974.

Pags. 37-91.

11. Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE)

- a) Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

México. Enero 1989.

pags. cap. 3.

- b) Reporte anual sobre la calidad del aire en la Ciudad de México. Enero 1992.

Pags. 11, 19-21, 42 y 43.

12. Thad Gudish.

Air Quality.

Ed. Lewis publishers INC. Michigan. 1983.

Pags. 15-44.

13 Zetina Gomora Ricardo.

Tesis. La contaminación atmosférica en la zona metropolitana.

Fac. Química, UNAM. 1989.

Pags. 4-23, 31-45.