

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

③
398

CURSO DE INGENIERIA AMBIENTAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

LUIS DE JESUS SARTI LOPEZ

MEXICO, D. F.

1978



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS TESIS 1978

ABO M.C. 398 *1978*

FECHA _____ *396*

PREC _____



JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE	Ramón Vilchis Zimbrón
VOCAL	Jorge Mencarini Peniche
SECRETARIO	Alberto de la Fuente Zuno
1er. SUPLENTE	Ramón Arnaud Huerta
2do. SUPLENTE	Ignacio Roch M.

Sitio donde se desarrolló el tema: Facultad de Química

Nombre completo y firma del sustentante:

LUIS DE JESUS SARTI LOPEZ

Nombre completo y firma del asesor del tema:

I.Q. ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO

Nombre completo y firma del supervisor técnico:

A LA MEMORIA DE MI PADRE

B) Separadores inerciales en seco	58
C) Colectores húmedos	64
D) Precipitadores electrostáticos	77
E) Gases y vapores.	87
CAPITULO VII. REGULACIONES OFICIALES.	101
BIBLIOGRAFÍA.	117

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

- A) OBJETIVO DE ESTE TRABAJO
- B) ¿QUE ES LA CONTAMINACION?
- C) LA CONTAMINACION EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD
- D) ECOLOGIA; FUNDAMENTOS.

A) OBJETIVO DE ESTE TRABAJO

El hombre al aparecer en este planeta, se encontró con un mundo de riquezas naturales, como el agua, los animales, las plantas, etc., pero conforme fué avanzando en conocimientos, este homo sapiens inició una carrera para dominar su mundo, así, encontró la manera de controlar el fuego, utilizó los ríos y mares, aprendió a cazar y a preparar sus alimentos, en fin, la carrera había comenzado y hoy, en pleno siglo XX, se han visto los avances tan sorprendentes que el hombre ha tenido, como es la construcción de grandes y complejas ciudades, también ha enviado naves espaciales a otros planetas y ha creado modernas computadoras, como un ejemplo de este avance.

Hoy parece que el hombre está a punto de ganar esta-

carrera, parece ser que no hay barreras naturales que el hombre no puede vencer, el poder del hombre sobre la tierra no tiene comparación, el hombre no tiene enemigos que la compitan en su carrera, excepto la propia naturaleza, su propio mundo.

Pero, acaso el hombre con todo su poder, con su inteligencia y avanzada tecnología, no se ha dado cuenta que a -- aquella naturaleza a la que ha dominado está a punto de destruirse gracias al "progreso" mismo?

La Tierra, ese bello planeta en el que vivimos se ve ahora en grave peligro de destrucción. Sus reservas naturales se están agotando y su confort para la vida se está transformando a un clima inhabitable, lleno de gases tóxicos y polvos, con temperaturas extremosas y lluvias torrenciales, provocados por la influencia del hombre y su descuidado avance tecnológico.

Hasta ahora, hemos hecho muy poco para remediar esta situación y ya que este problema empieza a ser alarmante, es cuando nosotros, que habíamos vivido con los ojos cerrados y sin preocuparnos por conservar nuestro "hogar espacial", empezamos a preocuparnos por ello y hemos iniciado una serie de estudios e investigaciones, tendientes a la identificación, cuantificación y con ello a la modificación de todo aquel con

taminante que ponga en peligro nuestra existencia sobre el -- planeta.

Es decir, el hombre de hoy, quiere controlar la contaminación y evitar, mediante su mismo avance técnico y científico, acciones que la produzcan.

El objetivo de esta tesis -Curso de Ingeniería Am--- bial es el de dar a conocer lo que es la contaminación del ambiente, cómo surge y cómo, mediante la aplicación de la tecnología, poder controlarla. Es de suma importancia que los - alumnos de carreras de Ingeniería conozcan lo que es la contaminación y sus perjuicios, ya que es el conocimiento del problema lo que mueve al individuo a resolverlo.

Sea entonces esta tesis a manera de curso, una guía para todas aquellas personas, que siendo de su competencia el aplicar los conocimientos del control de la contaminación ambiental, puedan encontrar la solución y con ello muy probablemente lleguen a salvar la vida de mucha, mucha gente.

B) ¿QUE ES LA CONTAMINACION?

Todos hablamos de contaminación, pero en sí, que significa esto? Existen diversos conceptos que explican y definen este término. La Subsecretaría de Mejoramiento del Am--- biente nos dá una definición muy completa de los que debemos-

entender por contaminación; ["Es la presencia en el medio ambiente de materia o energía producidos naturalmente o vertidos por el hombre en cantidades, concentraciones y durante un tiempo suficiente para perjudicar, causar molestias, amenazar la salud o la vida de las personas".]

También está la definición oficial dada por el Congreso de los Estados Unidos Mexicanos en su decreto "Ley Federal para prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental" que dice: [Se entiende por contaminación, la presencia en el medio ambiente de uno o mas contaminantes o cualquiera combinación de ellos que perjudiquen o molesten la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna o degraden la calidad del aire, del agua, de la tierra,] de los bienes, de los recursos de la Nación en general o de los particulares.

En otras palabras, [la contaminación es todo aquello que modifica al ambiente y por lo tanto, que afecta a los seres vivos. Es todo cambio provocado en la biosfera y que altera al equilibrio ecológico.]

C) LA CONTAMINACION EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD

Hace miles de años, la tierra tenía pocos habitantes, los cuales vivían sencillamente cazando, pescando, recolectando frutos, etc., y por lo tanto no causaban daño a su entorno.

Cuando apareció el fuego, fue éste el principal medio para -- transformar los habitats, el hombre empezó a quemar y talar bosques para practicar la agricultura, comenzando a alterar - el equilibrio ecológico de la biosfera.

Posteriormente durante la Edad Media, hubo también - una tala abusiva de bosques para facilitar la agricultura o - la ganadería, hecho que se conoce como trashumancia. Al mis- mo tiempo la madera se convirtió en un material cada vez mas- utilizado.

A fines del siglo XVIII las nuevas condiciones econó- micas y sociales de la producción, determinaron no solamente la aparición de numerosos descubrimientos científicos, sino - también su aplicación. Hasta 1800, la energía disponible te- nía su origen y se limitaba a la radiación solar. La forma - mas evidente de dicha energía era suministrada por la oxida- ción biológica de los compuestos que almacenaron energía so- lar durante mucho tiempo. De igual modo, hasta aquellas fe- chas la producción humana de materiales como un proceso de la biosfera, era relativamente limitada, pues durante miles de - años la demanda de materiales por el hombre había sido modes- ta y además, aquellos eran por lo general biodegradables.

Con la Revolución Industrial, aparecen nuevas fuen- tes de energía; los combustibles sólidos. Los efectos de di-



cha combustión empezaron progresivamente a ejercer efectos nocivos sobre la biosfera. Asimismo al aumentar la producción humana de bienes, las consecuencias del no-reciclaje de muchas sustancias se harían cada vez mas patentes en la naturaleza. A todo esto hay que añadir los efectos del "fenómeno urbano" en esta etapa del desarrollo del capitalismo industrial, aunado al grave problema demográfico: En 1650 la población mundial era de unos 500 millones de individuos y su tasa de crecimiento era de aproximadamente del 0.3% anual, --siendo necesarios 250 años para que esta población se duplicase. Para 1970 la población sumaba 3 600 millones y la tasa de crecimiento subió hasta el 2.1 % anual, que correspondía a un tiempo de duplicación de 33 años.

De esta manera se han venido incrementando gradualmente los niveles de contaminación al grado que ahora han adquirido proporciones dramáticas, no solo por su intensidad, --sino también por su extensión geográfica.

Ahora por fin nos damos cuenta que estamos agotando los recursos de la Tierra y que debemos actuar con toda energía para poder salvar a nuestro planeta del desequilibrio total que lo lleve a su destrucción.

D) ECOLOGIA; FUNDAMENTOS

La ecología es una ciencia nueva que ha tenido un -- gran desarrollo en virtud de la trascendencia de los temas -- que estudia. La palabra ecología proviene etimológicamente -- de los vocablos griegos "oikos" que significa casa y "logos" -- que quiere decir ciencia o tratado; así pues, [la ecología es la ciencia que estudia las condiciones de existencia de los -- seres vivos y las interacciones de todo tipo que se dan entre éstos y su medio ambiente.]

De esta definición se desprende fácilmente que todos los problemas relacionados con la contaminación en general, -- forman parte de la temática de esta ciencia.

El medio ambiente o el medio humano concebido como -- [BIOSFERA, es un sistema que engloba a todos los seres vivos -- de nuestro planeta, así como el aire, el agua y el suelo que -- constituyen su hábitat] o lugar en donde se desarrolla normal- mente su ciclo vital.

El concepto de biosfera o "esfera de la vida", fue -- introducido por J.B. Lamarck y por V.I. Verdadski, quienes la designaron concretamente como la zona del planeta, de varios- kilómetros de espesor, en donde se desarrolla el fenómeno de la vida.

Se puede resumir el funcionamiento de la biosfera -- del siguiente modo: en el exterior, una fuente de energía representada por la radiación solar; en el interior, la biomasa, en donde se desarrollan los fenómenos del metabolismo, al término de los cuales unos organismos nacen, otros mueren, unos se alimentan de otros formando cadenas alimentarias en un permanente y gigantesco ciclo biológico, en cuya salida, materias y formas de energía pasan de un estado biológico a otro. Estos procesos biológicos se inician en realidad con el ciclo de la energía solar, que constituye la verdadera fuente de vida de la Tierra.

A partir de la radiación solar, las plantas verdes pueden realizar el proceso de fotosíntesis, transformando la materia inerte en materia orgánica y liberando oxígeno (ciclo del oxígeno). Las plantas verdes y los detritos, constituyen el alimento de los animales herbívoros y éstos a su vez, son presa de los animales carnívoros, formando en conjunto multitud de cadenas alimentarias. Finalmente, los restos de dichos animales y las materias orgánicas en descomposición son transformados por las bacterias, regenerando los alimentos y sustancias minerales que volverán a las plantas verdes para hacer posible la continuación del proceso de fotosíntesis y del ciclo biológico global.

Este sistema de relaciones en cuyo seno se realiza el gigantesco reciclaje de todos aquellos productos de la bios

fera, tiene sin embargo, una gran utilidad y mantiene el llamado equilibrio ecológico sobre la Tierra.

Tratándose de un sistema autoregulador, la biosfera tiende a la estabilidad, es decir, a conservar sus rasgos esenciales para poder sobrevivir a los posibles cambios o alteraciones del medio ambiente. Entre dichos rasgos esenciales de la biosfera, figura el de constituir un sistema abierto, sometido a la acción de la energía solar, pero cerrado desde el punto de vista de los materiales. De ahí la necesidad de reciclar los residuos y de utilizar los productos de desecho de un proceso como materia prima para el siguiente.

Desde este ángulo, podemos enfocar el problema de la contaminación, que supone no resolver adecuadamente como un proceso en la biosfera, el reciclaje de la producción humana de energía y de materiales. La contaminación debería ser simplemente algo fuera de lugar si observáramos las leyes o normas que rigen el equilibrio de los ecosistemas y de la biosfera.

Pero esto normalmente no sucede así, y tal como ha sucedido y sucede con la explotación de los recursos naturales, el hombre olvida con frecuencia que su dominio sobre la naturaleza, no es el dominio de alguien situado fuera de la misma, sino que al constituir un elemento de la biosfera to-

do su dominio sobre ella consiste en que, a diferencia de --
los demás seres, es capaz de conocer sus leyes y de aplicar-
las adecuadamente.

C A P I T U L O II
CONTAMINANTES Y SUS FUENTES

- A) CLASIFICACION DE CONTAMINANTES
- B) FORMACION DE CONTAMINANTES SECUNDARIOS.
- C) CLASIFICACION DE LAS FUENTES

A) CLASIFICACION DE CONTAMINANTES

Diversos modelos de clasificación se pueden hacer para la gran variedad de contaminantes presentes en la atmósfera, pero un sistema de clasificación suficientemente práctico, es el de distribuirlo [de acuerdo a su origen, estado físico y composición química.]

I. SEGUN SU ORIGEN

[De acuerdo a su origen, los contaminantes atmosféricos se pueden clasificar como: a) primarios y b) secundarios.]

a) Contaminantes primarios

Son aquellos emitidos a la atmósfera como resultados de un proceso. Se encuentran en la atmósfera, en la forma en que fueron emitidos.

b) Contaminantes secundarios

Son aquellos formados en la atmósfera como producto de alguna reacción. Es el resultado de la reacción de un contaminante con algún otro material, ya sea componente natural de la atmósfera o bien, otro contaminante. La reacción puede ser fotoquímica o no fotoquímica, y como ejemplo se puede citar la hidrólisis, la oxidación catalítica, etc.

2. SEGUN SU ESTADO FISICO

De acuerdo a su estado fisico, los contaminantes se pueden dividir en: a) gases y b) partículas.

a) Contaminantes gaseosos

Los contaminantes gaseosos que se encuentran en la atmósfera, tienen un comportamiento muy similar al del mismo aire. Una vez difusos, no tienden a sedimentarse.

b) Partículas contaminantes

[Las partículas contaminantes son cualquier líquido o sólido, muy finamente dividido.] Las partículas mas grandes se sedimentan rápidamente y producen sus efectos muy cerca de la fuente emisora. Las partículas de mediano tamaño, viajan un poco más lejos y eventualmente se sedimentan a cierta distancia de la fuente.

Las partículas de menor tamaño, se comportan de manera semejante a un gas; permanecen suspendidas y son fácilmente transportadas por cualquier corriente de aire.

3. SEGUN SU COMPOSICION QUIMICA

[De acuerdo a su composición química, los contaminantes pueden clasificarse en: a) Orgánicos y b) Inorgánicos.]

a) Contaminantes orgánicos

[Los compuestos orgánicos pueden definirse como aquellos que contienen carbono e hidrógeno en su estructura, pudiendo tener otros elementos como sustituyentes.] De esta definición se deben separar los compuestos simples del carbono, como son: el monóxido de carbono y el bióxido de carbono. Estos contienen carbón, pero no hidrógeno.

b) Contaminantes inorgánicos.

Los compuestos inorgánicos que se encuentran contaminando la atmósfera, incluyen a los compuestos más simples del carbono, (CO y CO₂), y los compuestos no carbonados. La mayoría de los contaminantes comunmente encontrados, son --- inorgánicos.

Ahora, en la tabla I, veremos una clasificación de contaminantes de acuerdo a sus características físicas y químicas, que nos muestran también una clasificación de clases a sub-clases de gases y partículas, y los ejemplos de los -- contaminantes más importantes en cada clasificación.

TABLA I. CLASIFICACION DE CONTAMINANTES

Clase principal	Sub-clase	Ejemplos
Gases Organicos	Hidrocarburos	Hexano, benceno, etileno, metano, butano, butadieno.
	Aldehidos y cetonas	Formaldehido, acetona,
	Otros	Hidrocarburos clorados, alcoholes
Gases Inorganicos	Oxidos de nitrógeno	Dióxido de nitrógeno, oxido nítrico.
	Oxidos de azufre	Dióxido de azufre, trióxido de azufre.
	Oxidos de carbono	Monóxido de carbono, dióxido de carbono
	Otros	Sulfuro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno, amoniaco, cloro.
Partículas	Partículas sólidas	Polvo, humo
	Partículas líquidas.	Niebla, rocío

B) FORMACION DE CONTAMINANTES SECUNDARIOS

Actualmente, la atmósfera contiene una gran variedad de sustancias químicas, que van desde partículas de óxidos de metal, hasta gases y vapores orgánicos. Estos reactivos y productos, pueden producir efectos varios que se manifiestan como: visibilidad reducida, daño en los materiales, - daño a la agricultura y efectos fisiológicos a los hombres y animales.

Debido a que constantemente estamos agregando a la atmósfera nuevos contaminantes, es posible que se lleven a cabo diversas reacciones, produciendo compuestos químicos adicionales a los ya existentes, y por lo tanto el problema se - agrava.

Las reacciones que se llevan a cabo en la atmósfera, incluyen: reacciones entre especies gaseosas y superficies catalíticas, absorción de gas en la superficie de partículas, - reacciones de gases con sustancias presentes en la superficie de partículas, reacciones iniciadas por moléculas activadas - foto-químicamente, reacciones en fase líquida como disolución de gases en aerosoles líquidos e indudablemente, muchas otras.

[Para clasificar a la formación de contaminantes,] es necesario dividirlos en: [1) Reacciones fotoquímicas, y 2) Reac- ciones no - fotoquímicas.]

1) REACCIONES FOTOQUIMICAS

Las reacciones fotoquímicas para la formación de -- contaminantes secundarios, pueden ser de tres diferentes tipos de reacciones:

a) Reacciones primarias entre hidrocarburos y átomos de oxígeno proveniente de la descomposición fotoquímica del dióxido de nitrógeno.

b) Formación de nuevos productos como ozono y algunos compuestos orgánicos, y componentes disociados de algunos compuestos moleculares. Por ejemplo, átomos y radicales libres que reaccionan para formar compuestos, como es el smog.

c) Reacciones secundarias que dan a productos finales como nitratos alkilo, formaldehído, acroleína, y otras -- sustancias que pueden contribuir a la capacidad oxidante de la atmósfera.

2. REACCIONES NO - FOTOQUIMICAS

Aparte de las reacciones fotoquímicas primarias y las reacciones secundarias asociadas, existen otras reacciones atmosféricas que contribuyen a la formación de contaminantes secundarios. Es difícil clasificar las reacciones atmosféricas en fotoquímicas, térmicas o en reacciones inorgánicas

u orgánicas, ya que una vez que el contaminante está en la atmósfera, éste se verá involucrado en diferentes reacciones. Es por conveniencia entonces, por lo que se clasificó en reacciones fotoquímicas y no fotoquímicas.

[Las reacciones no fotoquímicas, incluyen absorción, catálisis, polimerización, condensación, oxidación y reducción.] Como reacciones típicas tenemos:

- es [
- a) La oxidación de SO_2 a SO_3 bajo influencia catalítica.
 - b) La hidrólisis de óxidos de nitrógeno a ácidos nitroso y nítrico.
 - c) La formación de ácido sulfúrico en aerosol a través de la oxidación de SO_2 a SO_3 y la hidratación a ácido sulfúrico acuoso.
 - d) La descomposición de los productos intermedios de oxidación orgánica, hacia compuestos más estables como ácidos y polímeros.
 - e) La formación de NH_4Cl por la reacción de NH_3 y HCl .
 - f) El crecimiento de partículas por la absorción de moléculas polares tales como agua seguida de coagulación.]

C) CLASIFICACION DE LAS FUENTES

Existen muchas clasificaciones para las fuentes de-

contaminación, pero una de las más completas, las divide en dos clases principales: Fuentes específicas y fuentes múltiples.]

FUENTES ESPECIFICAS:

[Las fuentes específicas son principalmente de naturaleza industrial.] Son fijas y por lo tanto tienen un área relativamente limitada a su comunidad.

Las plantas industriales representan a un complejo-sistema químico, el cual es tratado con mayor eficiencia, a nivel individual. Cada industria presenta su propio problema, ya que sus efluentes contaminantes son resultado de sus operaciones características de manufactura, con variantes en materias primas, combustibles, métodos y controles de contaminación.

Con todo y esto, es posible clasificar ciertas industrias en grupos, que ocasionan problemas similares y pueden ser tratados en forma semejante. Algunos de estos grupos son:

[Metales primarios; Productos metálicos elaborados; Maquinaria; Maquinaria eléctrica; Minería; Muebles y productos de madera; Equipos de Transporte; Productos químicos y derivados; Minerales; Textiles; Productos de hule; Productos de papel y derivados; Impresión y artes gráficas; Instrumentos; Alimentos, etc.]

FUENTES MULTIPLES

Este tipo de fuentes pueden ser fijas o movibles, y se distribuyen por toda la comunidad. Existe una clasificación general para las fuentes múltiples.

1. COMBUSTION DE COMBUSTIBLES:

En fuentes estacionarias

a) Combustible para producir fuerza.

Puede ser para plantas de utilidad pública o para plantas industriales.

b) Combustible para confort personal y servicios.

Puede ser para casas habitación o para la industria de servicios tales como: Hospedaje (hoteles y moteles); Medicina (clínicas y hospitales); Educacional; Gubernamental; Servicios de reparación; Lavandería y tintorería; Entretenimiento; Comercial (tiendas, oficinas, almacenes); otros.

En Transportación.

Vehículos de motor; Ferrocarriles; Barcos; Aviones.

2. [INCINERACION DE DESPERDICIOS SOLIDOS]

[Casas habitación; Municipalidad; Industria; Comercio.]

3. [EVAPORACION DE PRODUCTOS DEL PETROLEO]

a) [USO DE SOLVENTES:]

[Pintura; Desmanchado; Tintorerías; Manufactura de plásticos; Manufactura de hule.]

b) ALMACENAMIENTO Y COMPRA-VENTA

Depósitos agrícolas; Estaciones de servicio.

4. [ACTIVIDADES QUE DEJAN OLORES]

a) [OLORES DE ANIMALES]

[Plantas de preparación y empaque de carnes; plantas manufactureras de aceite.]

b) [OLORES DE LA COMBUSTION]

[Escapes en máquinas de gasolina y diesel; Hornos de carbón y de gas; Sistemas de calentamiento desajustados.]

c) [OLORES EN LA INDUSTRIA EN GENERAL]

[Quemado de hule en fundición; Tintorerías; Plantas-

fertilizantes; Asfalto (techos y pavimentos); Asfalto (manu-
factura); Manufactura de plásticos.]

d) OLORES DE DESPERDICIO DE COMBUSTIBLES

Incineradores caseros; Incineradores municipales; -
Fuegos al descubierto.

e) OLORES DE REFINERIAS

Mercaptanos; Gasolina y aceite crudo; Azufre.

f) [OLORES DE DRENAJE.]

[Alcantarillado de la ciudad con desperdicios indus-
triales; Plantas de tratamiento de aguas de albañal.]

C A P I T U L O I I I PARAMETROS METEREOLÓGICOS

El ciclo de la contaminación puede ser considerado en tres fases: la liberación de los contaminantes, en pequeñas concentraciones por el hombre, plantas, animales u objetos -- inanimados. En la fase de transporte y difusión, es en donde mayor influencia tienen los parámetros metereológicos, principalmente los movimientos de la atmósfera, que son muy variables en las cuatro direcciones y son los responsables del --- transporte y difusión de los contaminantes. Y la recepción de contaminantes.

Los principales movimientos metereológicos de la atmósfera son:

A) DIRECCION DEL VIENTO

La dirección del viento es la indicadora de la dirección del viaje de los contaminantes. En metereología se acostumbra mencionar la dirección del viento, como la dirección de la cual el viento proviene, así, un viento del noroeste, -

transportará contaminantes hacia el sureste de la fuente.

VELOCIDAD DEL VIENTO.

La velocidad del viento, tiene dos aportaciones:

[Determina el tiempo de viaje de la fuente al receptor,] por ejemplo, si un receptor se encuentra a 100 metros de una fuente, con vientos hacia el receptor, de una velocidad de 5 metros por segundo, tomarán 20 segundos para que lleguen los contaminantes de la fuente al receptor.

[El otro efecto de la velocidad, es el que se refiere a la dilución que sufre el contaminante al fluir por el viento.] Si una fuente continua está emitiendo un cierto contaminante con un flujo de 10g/seg y la velocidad del viento es de 1m/seg, entonces a 1 m de distancia, habrá 10g de contaminante; luego si se considera que las condiciones de emisión son las mismas, pero la velocidad del viento es de 5m/seg; -- puesto que 5m de aire se han movido después de la fuente por cada segundo, cada metro de la columna de humo contiene 2 g de contaminante.

Así, se puede concluir que [la dilución de los contaminantes expulsados por la fuente, es proporcional a la velocidad del viento,] o sea, visto de otra forma: [La concentración de los contaminantes es inversamente proporcional a la velocidad del viento.]

C) [VARIABILIDAD DEL VIENTO]

En los puntos anteriores, solo se había considerado velocidad y dirección principal, pero hay desviaciones a estos parámetros. Existen componentes de velocidad en todos sentidos, y estos movimientos al azar de tan diferentes intensidades y períodos. Existen componentes de velocidad en todos -- sentidos, y estos movimientos al azar de tan diferentes intensidades y períodos, son los responsables del movimiento y difusión de las columnas de contaminantes de las chimeneas. [Es] estos movimientos pueden ser considerados como turbulencias atmosféricas. Si tomamos como escala de movimiento turbulento al tamaño de un eddy (remolino) y éste, es mayor que el tamaño de la columna de humo, el remolino moverá esa porción de columna. Si un eddy (remolino) es menor del tamaño de la columna, su efecto será el de difundir o dispersar la columna.]

Esta difusión causada por el movimiento del remolino, es muy variable en la atmósfera, pero aún cuando esta difusión fuera muy pequeña, es mayor que la difusión molecularmente.

D) [TURBULENCIA MECANICA]

[La turbulencia mecánica es la estructura del remolino inducida a la atmósfera, provocada por la rugosidad de la superficie por la que el viento viaja.] Así la existencia de-

árboles, edificios, torres, y explanadas, favorecen la existencia de turbulencia mecánica. En general, [mientras más altos sean los elementos de rugosidad, mayor será la turbulencia mecánica. Además, conforme la velocidad del viento aumenta, mayor será la turbulencia mecánica.]

E) [TURBULENCIA TERMICA]

[La turbulencia térmica, es la inducida por la estabilidad de la atmósfera. Cuando la superficie de la tierra es calentada por el sol, las capas más bajas de la atmósfera se vuelven inestables y aumenta la turbulencia térmica, sobre todo cuando hay vientos suaves. Cuando en las noches, con vientos suaves, la superficie de la tierra irradia calor al enfriarse, se puede esperar poca turbulencia térmica,] al ser extremada la estabilidad de la atmósfera.

[LA INFLUENCIA DEL PATRON DE TEMPERATURA VERTICAL SOBRE LAS COLUMNAS DE HUMO EN LAS CHIMENEAS]

La forma en que se difunden las columnas de humo de una chimenea, está en función directa de la estabilidad atmosférica. Así se han encontrado seis clases de comportamiento de las columnas de humo.:

[ONDEO (LOOPING)]

[Ocurre cuando el gradiente de temperatura vertical es superadiabático y el aire es muy turbulento.] [Esto ocurre en las estaciones tibias con cielos despejados, en donde la radiación solar es alta. La turbulencia térmica generada, -- ocasiona grandes remolinos, los cuales pueden llevar a la columna completa de humo a tierra.] El alto grado de turbulencia hace que la columna se disperse rápidamente, pero si el humo toca tierra con prontitud, habrá una mayor concentración en las cercanías de la fuente.

[CONEO (CONING)]

[Ocurre con un gradiente vertical de temperatura subadiabático, pero no isotérmico. La columna toma una forma de cono, la dispersión es más lenta que en el ondeo, y la distancia a la cual toca tierra es mayor que en el ondeo. Generalmente ocurre en días nublados o por las noches, en que hay vientos moderados.]

[FANNING]

[Ocurre cuando el gradiente de temperatura es positivo, o sea, en una inversión arriba y abajo de la columna de humo.]

[La columna entonces, es minimizada, ya que el aire es muy estable, y puede serpentear y dispersarse en dirección horizontal.] Así, la predicción de concentraciones se dificulta.

[ELEVAMIENTO (LOFTING)]

[Ocurre cuando existe inversión solo debajo de la columna de aire y así, el humo no puede difundirse hacia abajo. Esta condición ocurre por las tardes cuando hay inversión por la radiación de la tierra.] Por lo general al variar la altura de la inversión, el elevamiento tiende a tomar forma de -- fanning.

[FUMIGACION (FUMIGATION)]

[Conforme la radiación solar aumenta, las capas inferiores son calentadas y se vá formando un flujo superadiabático. Cuando la capa es lo suficientemente baja para alcanzar al fanning, esta turbulenciaa térmica traerá esa columna de humo, en toda su concentración, hacia la tierra. Esto se ve favorecido por cielos despejados y vientos suaves.]

[TRAMPEO (TRAPPING)]

[El trampeo se refiere a las condiciones en que la columna es "atrapada" entre inversiones y solo puede difundir en una limitada altura.] Este estilo es semejante al de fumi-

gación, excepto que [las concentraciones son mucho más bajas -
puesto que la columna de humo puede difundir a una gran anchu
ra antes de alcanzar la inversión.]

C A P I T U L O IV

[EFECTOS GENERALES DE LA CONTAMINACION]

Las consecuencias, a largo plazo, de la contaminación atmosférica en el hombre son aún poco conocidas y difíciles de apreciar; la población de las grandes aglomeraciones urbanas e industriales es una población heterogénea, cuyas condiciones de vida no son idénticas para todos. Por otra parte, la contaminación del aire no es debida únicamente a un sólo agente contaminante, sino que como se vió, existe una acción combinada de varios de ellos, cuyas interacciones no son aún del todo conocidas. Todo ésto, dificulta los estudios médicos y epidemiológicos de la contaminación atmosférica.

[Entre las enfermedades que con mayor frecuencia se asocian a la contaminación del aire, merecen destacarse las lesiones broncopulmonares: bronquitis, asma, enfisema.] Estudios realizados sobre una amplia base de población en diferentes países señalan que una enfermedad como el asma afecta -- del 3 al 5% de la población y que un 35% de ausencias al trabajo son debidas a enfermedades de tipo respiratorio. -- Los efectos de la contaminación sobre la mortalidad --

son muy difíciles de determinar, excepto en poblaciones pequeñas cuando, por causas de la contaminación, se produce un aumento significativo del número de defunciones, y en circunstancias excepcionales en las grandes ciudades. Durante el smog de Londres de diciembre de 1952, cuando más de ocho millones de personas se vieron sometidas a una contaminación muy intensa, las 4 000 muertes que se produjeron (una tasa diaria de 12.2 por cada cien mil habitantes) supusieron -- una cifra cuatro veces superior a la normal. Además, unas -- 10,000 personas, víctimas de dificultades respiratorias, tuvieron que ser atendidas en hospitales y en otros centros médicos. La relación entre la contaminación atmosférica y la enfermedad del cáncer, ha sido muy debatida y es objeto desde hace años de intensas investigaciones. Investigaciones realizadas desde el principio del presente siglo, muestran que existen sustancias activas cancerígenas en varios hidrocarburos. Estos agentes cancerígenos son el 3-4 benzopireno, el metilcolantreno y otros, que en cantidades mínimas (0.0004 mg), son capaces de desarrollar tumores malignos en animales de experimentación. Además de estas sustancias emitidas por los gases de escape de los vehículos de motor, se han determinado otros agentes de poder cancerígeno, como el carbón negro utilizado en la fabricación de neumáticos para automóviles y, en especial, el amianto que se utiliza en las guarniciones de frenos de los automóviles y que es responsable de gran número de tumores malignos.

En el actual estado de los conocimientos científicos y a pesar de los estudios epidemiológicos realizados, no se puede afirmar con absoluta certeza que los vehículos de motor originen el cáncer de pulmón. En opinión de los especialistas, su influencia es, en todo caso, menor que la del tabaco (la frecuencia del cáncer bronquial es 50 veces superior en fumadores).

Los efectos sobre el hombre de la contaminación atmosférica preocupan desde hace años en todo el mundo. La Organización Mundial de la Salud estableció hace algún tiempo un cuadro de las concentraciones límites admisibles para el ser humano, en el que se fijan cuatro índices de pureza del aire:

Nivel I. La concentración y duración de la acción de los contaminantes, es igual o inferior a los valores para los que no se observa ningún efecto directo o indirecto dado el actual estado de nuestros conocimientos.

Nivel II. Las concentraciones y las duraciones de exposición son iguales o superiores a los valores para los que se observa una irritación en los órganos de los sentidos, efectos nocivos sobre la vegetación, reducción de la visibilidad u otros efectos desfavorables en el medio ambiente.

Nivel III. Las concentraciones y las duraciones de exposición son iguales o superiores a los valores para los -- que probablemente habrá un ataque a las condiciones fisiológicas vitales o bien alteraciones que puedan ocasionar enfermedades crónicas o producir incluso una muerte prematura.]

Nivel IV. Las concentraciones y las duraciones de exposición son iguales o superiores a los valores para los -- que habrá enfermedad aguda o muerte prematura en los grupos - vulnerables de la población.]

También se sabe que los animales domésticos y salvajes, no escapan a los efectos de la contaminación atmosférica. La acción nociva de ciertos agentes contaminantes ha sido --- puesta de manifiesto en el ganado bovino, en caballos, ovejas, así como en las abejas y los gusanos de seda.

El perro es, con frecuencia una de las especies animales más afectadas por la contaminación del aire, mostrando a menudo signos evidentes de trastornos respiratorios y de molestias diversas. En otras ocasiones, los animales son afectados como resultado de la absorción de vegetales que contienen productos contaminantes. Entre ellos figuran el fluor, - responsable de la enfermedad llamada - fluorosis -, el plomo, que provoca trastornos digestivos, el molibdeno, que produce anemias y lesiones óseas, etc.

Los efectos de la contaminación en los vegetales -- son bastante conocidos. Ciertas plantas han sido utiliza-- das como indicadores permanentes del grado de contaminación por los efectos que ésta tiene en sus funciones vitales (nu trición, crecimiento, reproducción). Un ejemplo de ello lo tenemos en la desaparición del liquen en nuestras ciudades, y que sigue estando presente en núcleos urbanos no contami-- nados. El dióxido de azufre afecta a pinos y otras conífe-- ras causando estragos en algunos bosques. El flúor afecta-- al mecanismo hormonal de crecimiento de las coníferas, impi-- diendo la regeneración natural de los bosques. El pino sil-- vestre es también muy sensible a dicho contaminante (el 80% son destruídos).

La influencia de la contaminación atmosférica en el patrimonio artístico de un país es igualmente muy grande. -- Muchos monumentos expuestos a la intemperie son atacados -- por humos y ácidos, siendo especialmente grave el problema-- de la "sulfatación" de las piedras calizas. Desde hace --- años existe gran preocupación por estos problemas y muchas ciudades yan emprendido una campaña de limpieza de sus edi-- ficios y monumentos históricos.

Aunado estos efectos nocivos que la contaminación -- atmosférica genera, es muy importante citar el incremento en porcentaje de composición en la atmósfera del dióxido de car-- bono o gas carbónico, ya que éste, según algunos especialis--

tas se ha incrementado en un 15% desde principios de siglo y -
al seguir en aumento debido al intenso tráfico aéreo, podría -
llegar a producir un recalentamiento de la atmósfera terrestre.

C A P I T U L O V

MUESTREO Y ANALISIS DE LOS CONTAMINANTES

- A) INTRODUCCION Y CONSIDERACIONES BASICAS
- B) MUESTREO Y ANALISIS DE PARTICULAS
- C) MUESTREO Y ANALISIS DE GASES Y VAPORES
- D) PROCEDIMIENTOS ANALITICOS

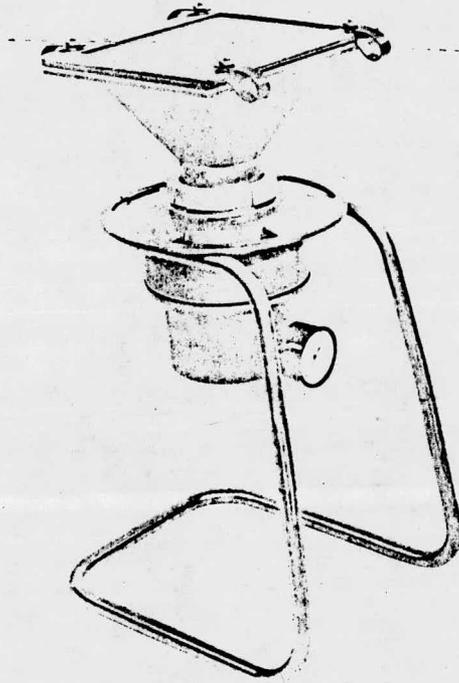
A) INTRODUCCION Y CONSIDERACIONES BASICAS

En la conservación del aire, es básica la necesidad de programas para la medición e identificación de los contaminantes atmosféricos. Es también de fundamental importancia, la información específica de los tipos y cantidades de contaminantes que han sido descargados a la atmósfera. Estos datos se pueden obtener a través del inventario de las fuentes y por pruebas de ellas. Es entonces, en este capítulo, - en donde se verán los métodos para determinar las concentraciones en el aire de los contaminantes en una comunidad, con respecto al tiempo y localización.

[En el muestreo del aire,] existen cinco consideraciones básicas para minimizar las fuentes de error y optimizarla eficiencia.

- [1.- La muestra a tomar debe ser representativa en términos de tiempo, localización y condiciones a ser estudiadas.]
- [2. El volúmen de la muestra tomada debe ser lo suficientemente grande para permitir análisis exactos.] Esto dependerá de la concentración esperada del contaminante, así como de la sensibilidad del método analítico.
- [3. El flujo de muestreo deberá ser tal que dé el máximo de eficiencia a la toma.] En el muestreo de partículas con fibras de membrana, la elección del flujo de toma de muestra, será limitada por el hecho de que la caída de presión a través del filtro aumenta exponencialmente con el perfil de velocidad, entonces, habrá fuertes restricciones en la bomba de muestreo.
- [4. La duración del período de muestreo y su frecuencia deberán ser tales que reflejen exactamente las fluctuaciones de los niveles de contaminación.] Por ejemplo, cuatro muestras cada seis horas en un día, pueden dar mucho más información en la variación de los niveles de SO_2 en la atmósfera, que una muestra en 24 horas. Obviamente que el muestreo continuo y análisis por medio de analizadores y registradores automáticos sería lo mas recomendable para tener flujos continuos.

Figura No. 1



MUESTRADOR DE AIRE DE GRAN VOLUMEN



5. El contaminante no deberá ser alterado o modificado en el proceso de muestreo, para ésto, las partículas muestreadas pueden ser quitadas de las paredes de los tubos en los análisis. Las aglomeraciones como las que ocurren en los precipitadores electrostáticos pueden disminuir el número de partículas suspendidas y aumentar el tamaño promedio. Los gases reactivos son fácilmente absorbidos en las paredes de los tubos de muestreo y depósitos de almacenamiento.

Existe, para la identificación de concentraciones de polvos en el aire, la Carta de Ringelman, que tiene su base en comparar cuadros de diversas aberturas, con el color del aire.

B) MUESTREO Y ANALISIS DE PARTICULAS

De acuerdo al principio físico usado en la corriente de aire muestreada, para su extracción, los equipos se dividen:

I. Gravedad.

La velocidad con que se depositan las partículas del aire es medida por medio de recipientes. Estos, son generalmente de plástico, con abertura de boca de aproximadamente

cuatro pulgadas de diámetro. Los recipientes son colocados en lugares estratégicos en la comunidad o en la vecindad en donde se encuentren las fuentes a ser estudiadas. Así la arena y polvos caen en los recipientes, que algunas veces contienen agua para fijar al polvo y después de un mes de exposición, se recogen los recipientes y se llevan al laboratorio en donde será analizado su contenido. En la mayoría de los casos, solo se determina la cantidad total de materia recibida, y los resultados se reportan en toneladas por milla cuadrada por mes.]

[En algunos casos, se hacen análisis químicos completos del material recogido, obteniendo datos de flujos de materias solubles o insolubles, combustibles; o bien de sulfatos, cloruros, nitratos, plomo, etc.]

Otros métodos para evaluar la cantidad y características de la caída de polvo, incluyen el uso de charolas y placas de vidrio, cubiertas con adhesivos o cintas de papel engomado.

[2. Colectores inerciales.]

[Cuando un chorro de aire cargado de polvo es dirigido a gran velocidad sobre una superficie plana, las partículas, al chocar en esa superficie pierden su energía cinética-

y pueden entonces ser recogidos. Este principio, es utilizado por el impactador de cascada para separar y recoger cuatro diferentes tamaños de partículas.] Puesto que el aire que fluye a través de una serie de rejillas de menor área cada vez, - la velocidad del gas va aumentando consecuentemente. Ya que la eficiencia del impacto es directamente proporcional a la - velocidad de la partícula, el impactador de cascada recoge -- las partículas más grandes en los pasos iniciales y las más - finas en los posteriores. [En este equipo, las superficies colectoras son placas de vidrio, las cuales pueden ser extraídas y colocadas en un microscopio para el conteo de las partículas y su medición.]

[Otro instrumento que utiliza el mismo principio, es el de Muestreador de Aire Andersen, el cual fué diseñado originalmente para muestrear microorganismos en el aire. Consiste de una canasta de seis sedazos, colocados uno encima del otro, con diferente abertura, siendo el más grande colocado arriba y el menor en la parte inferior. Debajo de cada malla, se coloca una caja de Petri con agar.] El aire, que es muestreado con una velocidad de un pie cúbico por minuto, pasa secuencialmente a través de las seis etapas, reteniéndose las partículas de mayor tamaño en la caja de la primera malla, y las partículas más finas, quedarán en las siguientes etapas.

[Este instrumento puede ser utilizado para analizar-

polvos inertes, colocando algún material adhesivo en lugar -- del agar. } Las cajas de Petri pueden ser pesadas antes y después del muestreo, y el peso resultante puede ser usado para hacer un análisis del tamaño de partícula del aerosol.

[El muestreador en húmedo, es esencialmente un impactador de un solo paso. En este, el gas fluye a través de un tubo de vidrio, el cual tiene en su extremo terminal, un pequeño orificio que está sumergido en agua. Entonces, las partículas del aerosol chocan con la base del matraz del muestreador y son atrapadas por el líquido, el cual normalmente es agua. El muestreador Greenburg - Smith, o estándar, es trabajado a la velocidad de un pié cúbico por minuto de aire, -- mientras que el micromuestreador, trabaja con un flujo de uno a diez pies cúbicos por minuto. Ambos son altamente eficientes para extraer partículas de alrededor de una micra de diámetro.]

[También se pueden usar ciclones de alta eficiencia para recoger polvo. Debido a que la eficiencia de recolección varía inversamente con el diámetro del ciclón, es necesario usar ciclones de una pulgada de diámetro para tener una recolección eficiente, cuando haya partículas sub-micrónicas.]

[El Espectrómetro de partículas Goetz es una especie de centrífuga que puede ser usado para determinar con exacti-

tud la distribución de tamaño de partícula.] Funciona de la siguiente manera: el aire fluye a través de un canal helicoidal construido en un cono rotatorio. Las partículas suspendidas son impulsadas hacia afuera del eje de rotación por la fuerza centrífuga, y son recogidos por una hoja metálica que envuelve al cono. Debido al constante incremento en la fuerza centrífuga que se ejerce sobre las partículas, las partículas más finas son las que recolectan al final de la corriente. Para su análisis, se extiende la hoja metálica y se coloca en un microscopio, trabaja con luz superficial, las partículas aparecen como unas manchas blancas sobre un campo negro. Estas pueden ser contadas directamente o bien, pueden ser fotografiadas y posteriormente contadas en ampliaciones en los negativos. El tamaño de la partícula puede ser calculado de la distancia que la partícula viajó en el canal helicoidal antes de su recolección. Así, para hacer un análisis de frecuencia de tamaño, únicamente es necesario contar las partículas y relacionar estas cuentas a su localización correspondiente en la hoja. Como se puede ver, este instrumento es una gran herramienta para el estudio de partículas muy finas.

[3. Precipitadores electrostáticos.]

[El precipitador electrostático es un instrumento altamente eficiente en la recolección de polvos. Está compuesto de un alambre ionizador cargado a un conductor de voltaje y si

tuado coaxialmente a un cilindro abierto por uno de sus extremos.] Funciona debido que existe un espacio entre el alambre y la pared del cilindro, y [las partículas que entran al cilindro] al pasar a través de esta región, [adquieren una carga --- eléctrica de la misma polaridad que la del alambre y al ser - atraídas por las paredes del cilindro que tienen diferente -- signo que el alambre, quedan atrapadas. Los precipitadores - electrostáticos tienen un flujo superior a los 8 pies cúbicos por minuto y para partículas de tamaño submicrónico, tienen - una eficiencia de alrededor del 99%.]

[4. PRECIPITADORES TERMICOS]

[El precipitador térmico se basa en el principio de -- que un cuerpo caliente situado en una nube de polvo, provoca una zona libre de partículas a su alrededor. En un precipitador térmico, las partículas de la corriente de muestreo, pasan por un alambre altamente calentado y al ser repelidas, son atrapadas por un plato frío.] Este instrumento es altamente eficiente, pero opera a velocidades de flujo de aire demasiado bajas - aproximadamente 50 mililitros por minuto-, por lo que tiene su mayor aplicación en investigación.

[5. FILTRACION]

[Un filtro de fibra, es una masa de fibras ordenadas -

al azar a través del cual se recolectan finas partículas. Cuando pasa el aire con partículas a través de un filtro, éstas - se ven sujetas a fuerzas aerodinámicas, cuyo resultado es su colocación en las fibras. Los mecanismos principales son gravitación, inercia, intercepción y difusión.]

En la práctica, se usan dos tipos de filtros de fibra para la recolección de partículas y determinación de su tamaño, peso o análisis químicos. Estos son los comunes [filtros-Whatman, hechos de fibra de celulosa y los filtros de fibras-microfinas, hechos de vidrio o plásticos sintéticos.]

Un dispositivo muy popular en la recolección de partículas, es el llamado [Muestreador de Aire de Alto Volumen.] Es rutinariamente usado por los organismos encargados de la determinación de concentraciones de partículas suspendidas en las áreas urbanas y rurales. [Emplea una fibra de vidrio media, la cual puede filtrar un flujo de 70 pies cúbicos por minuto, y tiene una eficiencia de más del 99% en la recolección de partículas tan finas como de 0.3 micras de diámetro. Este tipo de muestreadores puede trabajar durante 24 horas sin ningún aumento apreciable de resistencia de flujo. Tantas ventajas como sus altos flujos de muestreo a bajas caídas de presión, gran capacidad de almacenamiento de partículas, poca humedad, alta eficiencia] y un bajo costo de manufactura, han hecho a este equipo, uno de los más utilizados en los últimos tiempos.

Otro equipo de filtración de bastante aceptación es el muestreador de nieblas y humos del Instituto Americano del Hierro y el Acero, conocido como el [muestreador de cinta de filtro]. Es un muestreador automático que consiste en una cinta continua de filtro Whatman a través de la cual pasa el aire a 0.25 pies cúbicos por minuto aproximadamente. Las partículas que se recolectan, forman una mancha oscura, la cual varía con la concentración de las partículas. Al final de un tiempo de muestreo, que por lo general dura de dos a cuatro horas, la cinta es movida automáticamente a una nueva posición de muestreo y el ciclo se repite. [El muestreador puede estar trabajando ininterrumpidamente por meses. Para analizarlas manchas se quita la cinta y se coloca en un elevador, el cual determina el paso de la luz en cada mancha, luego, estas lecturas se convierten a densidades ópticas y algunas veces se expresan en unidades de COH (coeficiente de niebla). Este muestreador de cinta es útil para la medición del índice de ensuciamiento del aire.]

Otra forma usada para muestrear aire es el uso del [filtro membrana]. Consiste en una placa de plástico muy delgada que tiene gran cantidad de poros muy finos. El filtro funciona como una malla, pero debido a sus características electrostáticas, puede atrapar partículas más finas que el tamaño del poro. Los filtros membrana son muy útiles para análisis especiales como: radioactividades, exámenes morfológicos --

del polvo y frecuencias de tamaños de partículas.]

Recientemente, se ha venido desarrollando un nuevo tipo de filtro-membrana, se le conoce como Nucleoporo, y es una delgada placa de plástico, la cual ha sido sujeta a un bombardeo de partículas en un reactor nuclear. Los poros, aparte de ser muy finos, tienen un tamaño extremadamente uniforme.

[C) MUESTREO Y ANALISIS DE GASES Y VAPORES]

Las técnicas para el muestreo y análisis de gases y vapores pueden ser agrupadas en cuatro clases:

[1. Muestreo instantáneo.]

[Este método es de recolección manual en recipientes vacíos como matraces de vidrio y botellas de acero inoxidable. Los recipientes se vacían luego en el laboratorio y simplemente abriendo una válvula, se llevan al analizador.]

[2. Muestreo manual]

[En este método, la muestra de aire contaminado, se acarrea al colector por un determinado período de tiempo, desde unos cuantos minutos hasta una o dos horas. El sistema está compuesto de un colector, un medidor de flujo y una fuente de vacío.]

(a) El colector puede tener algún adsorbedor apropiado, tal como carbón activado, sílica gel,] o algún tamíz molecular especialmente escogido para retener los contaminantes -
deseados con buenas eficiencias. [El aparato medidor puede --
ser un rotámetro o un medidor de flujo del tipo de orificio;-
mientras que la fuente de vacío es generalmente una bomba, ya
sea de diafragma, rotativa o de turbina.]

La muestra recogida es llevada entonces al laborato--
rio, en donde el gas es desadsorbido por medio de solventes,-
vapor o por vacío.

(b) Por otro lado, el colector puede ser un recipien-
te que contenga un reactivo absorbente adecuado.] Los apar--
tos que generalmente se usan para este efecto son equipos [co-
mo impactadores en húmedo, burbujeadores y columnas en espi--
ral o empacadas.]

[Para registrar el volumen de gas en los sistemas de -
muestreo manual, se pueden usar medidores de gas en húmedo o
en seco.] Sin embargo es preferible usar medidores que indi--
quen la velocidad del gas y reservar los medidores integrales,
especialmente el medidor en húmedo, como estándares de laborau
torio para calibrar medidores de flujo.

3. Congelamiento.

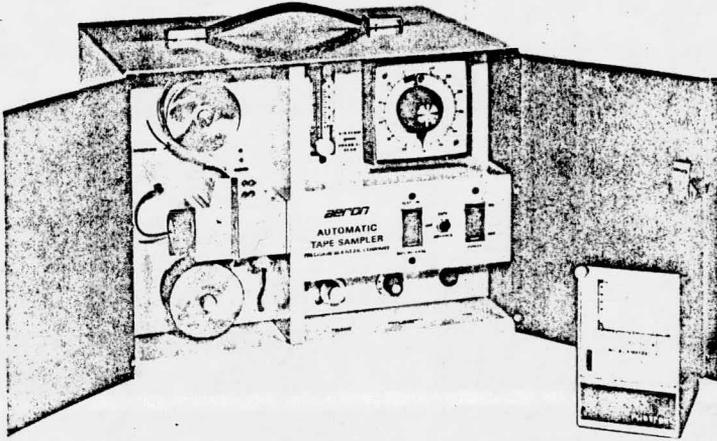
Un método complejo pero efectivo para analizar vapores de hidrocarburos en la atmósfera, es la condensación a baja temperatura, usando trampas de congelamiento. Son esencialmente tubos en U, empacados con lana de vidrio y sumergidos en un matrás Dewar con un refrigerante. Existen diversos refrigerantes con sus temperaturas características, como son: - hielo (0°F), hielo seco y acetona (-79°F); gases licuados como: Aire (-147°F), Oxígeno (-183°F), Nitrógeno (-196°F), etc.

Por lo general se toman muestras con un flujo de unos cuantos litros por minuto, por espacio de una a dos horas. -- Después de la recolección, la trampa de congelamiento se lleva al laboratorio y el contaminante se analiza por método espectrométricos, cromatografía de gases y espectrometría de masas.

4. Muestreo automático

Es posible en algunos casos, reducir los costos del muestreo manual, por medio del uso de muestreadores automáticos o secuenciales. Por ejemplo, el muestreador secuencial - Gelman, que consta de una caja de metal con doce micro-muestreadores, cada uno conectado a través de cada muestreador en su turno, por un determinado intervalo de tiempo. Por ejemplo, el equipo puede ser programado para recoger doce muestras de dos horas de SO_2 por día. Al término de este período, se

Figura No. 2



ANALIZADOR CONTINUO AUTOMATICO

llevan los micro-muestreadores al laboratorio en donde se analizarán las muestras, y se lavará el equipo y preparará para las siguientes tomas.

5. Analizadores continuos automáticos.

Por mucho, la mejor aproximación del - monitoreo del aire-es por medio de instrumentos que automática y continuamente tomen muestras, las analicen y registren los resultados en gráficas o cintas. Obviamente, tales equipos son muy complejos y relativamente caros. Además, sólo se han desarrollado para un número limitado de contaminantes. En la Figura 2 se muestra el diagrama de los analizadores continuos automáticos que usen métodos químicos en húmedo.

Sus rasgos característicos son la introducción cuantitativa del reactivo y de la muestra al contactador, en donde el contaminante es absorbido en la solución del reactivo. Después de que el líquido es separado de la corriente de aire, éste fluye hacia el detector en donde se analiza, por medio de espectrofotometría, conductividad o Coulombimetría. La señal del detector es amplificada y alimentada al registrador con registros de gráficas o de cintas. El tiempo de respuesta de estos instrumentos varía de 2 a 30 minutos, el cual permite la observación de "picos" de relativa corta duración. -- Una calibración y un buen mantenimiento por un técnico calificado, son básicos para asegurar la exactitud y el buen esta-

do del equipo.

Analizadores automáticos de este tipo, son comunes para aquellos contaminantes como: oxidantes totales, óxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. El precio de estos instrumentos varía entre \$ 1,800 dls. y \$ 4,000-dls. con juego de registrador completo.

También existe un limitado número de analizadores continuos automáticos, que utilizan sistemas ópticos, en lugar de químicos por vía húmeda. Un ejemplo de este tipo es el analizador de infrarojo para CO y CO₂. Generalmente este tipo de analizadores son preferibles puesto que son mas sencillos y duran más en buen estado, pero desafortunadamente tienen muy pocas aplicaciones.

[El analizador de hidrocarburos totales se basa en el principio de la ionización de flama del hidrógeno.] La muestra se quema en una llama de hidrógeno y los iones producidos se recogen y miden. El instrumento es muy sensible, y puesto que responde esencialmente solo a los átomos de carbón, se puede esperar una particularidad razonable para grupos selectos de compuestos del carbón, a través del uso de columnas de adsorción apropiadas.

Varios métodos además, son frecuentemente usados en -

las determinaciones de calidad del aire. Estos pueden clasificarse como indicadores o mejor dicho, como métodos semi-cuantitativos. Entre ellos se encuentran:

TECNICA	CONTAMINANTE
1. Papel de acetato plomado	Sulfuro de hidrógeno
2. Papel de cal	Fluoro
3. Tiras de hule.	Oxidantes totales
4. Candelas de peróxido de plomo	Actividad total de azufre
5. Indicadores colorimétricos	Monóxido de carbono, -- dióxido de azufre, etc.

Las técnicas anteriores tienen una serie de desventajas que frecuentemente limitan su aplicación en el control de la contaminación ambiental. Estas incluyen:

1. Falta de sensibilidad
2. Falta de particularidad
3. Poca cuantitatividad.
4. Requieren largos períodos de muestreo.

C A P I T U L O VI
TECNOLOGIA PARA EL CONTROL DE LA
CONTAMINACION AMBIENTAL

- A) BASES PARA LA RECOLECCION DE PARTICULAS
- B) SEPARADORES INERCIALES EN SECO
- C) COLECTORES HUMEDOS
- D) PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS
- E) GASES Y VAPORES

A) [BASES PARA LA RECOLECCION DE PARTICULAS]

1. Introducción

Los polvos que vienen de fuentes conocidas y que pasan por corrientes de gas bien definidas, pueden ser extraídos de esas corrientes por medio de diversos tipos de equipos recolectores. [Las dos principales razones para la extracción de partículas son:]

a) [Recuperar material para poder re-usarlo en los -- procesos de manufactura o para su venta como sub-producto.]

b) Reducir la cantidad de partículas descargadas a la atmósfera.]

2. [El proceso de extracción]

La extracción de partículas, puede dividirse en tres pasos:

a) [Depósito de partículas en una superficie colectora por la aplicación de fuerzas direccionales diferentes al movimiento de la corriente del gas.]

b) [Retención de las partículas en la superficie colectora] sin permitir su re-ingreso a la corriente del gas.

c) [Extracción intencional de las partículas de la superficie colectora, por medio de mecanismos limpiadores,] ya sea intermitentes o continuos.

3. [Mecanismos colectores.]

Los mecanismos básicos para separar partículas de una corriente gaseosa son:

a) [Sedimentación por gravedad:] La velocidad de la corriente horizontal, es lo suficientemente pequeña, para permitir que las partículas sedimenten por la fuerza de gravedad.

b) [Fuerza inerciales:] Por un cambio repentino en la dirección de la corriente del gas, el mayor momentum de las partículas las obliga a separarse del flujo del gas.

c) [Filtración:] El gas cargado de polvo, pasa a través de un medio poroso en donde las partículas quedan atrapadas, dejando que solo gas limpio salga a la atmósfera.

d) [Atracción electrostática:] Las partículas, cargadas eléctricamente, son atraídas a objetos con carga contraria.

e) [Acondicionamiento de partículas:] Poniendo en contacto las partículas con agua, se forma un aglomerado, el cual es más fácil de separar de la corriente del gas, por cualquier mecanismo colector.

4. [Selección de un colector de polvo]

En la selección de un equipo colector de polvos, existen muchas consideraciones. Algunas, de índole técnica, y -- otras son en base a la experiencia. La buena selección, requiere un cuidadoso estudio y evaluación de los siguientes -- factores:

a) [Características de las partículas.]

[Distribución de tamaño

Forma

Densidad

Viscosidad

Higroscopicidad

Propiedades eléctricas

b) Propiedades del gas transportador

Temperatura

Contenido de humedad

Corrosividad

Flamabilidad

c) Factores del proceso.

Velocidad de flujo del gas

Concentración de partículas

Caída de presión permisible

Operación continua o intermitente

Eficiencia deseada

Disposición de los desechos

d) Economía

Costos de instalación

Costos de operación

Costos de mantenimiento

5. Eficiencia de recolección

Cada colector de polvo que opera bajo condiciones de-

flujo específicas y con un gas determinado, tiene una eficiencia de recolección correspondiente a cada tamaño de partícula que pase a través de él. Así, existe una "eficiencia de recolección de tamaño de partícula" definida para cada colector en las condiciones de flujo dadas.

B) SEPARADORES INERCIALES EN SECO

1. Cámaras de sedimentación

Una cámara de sedimentación, es un compartimento semicerrado en donde la velocidad del gas transportador es reducida lo suficiente, para permitir que las partículas de la corriente se sedimenten por la fuerza de la gravedad.

El principal factor en el diseño de estas cámaras, es la velocidad de flujo del gas ya que deberá ser suficiente para que las partículas que entran en la parte más alta de la cámara se sedimenten antes de salir de ésta, entonces, la longitud de la cámara estará en función del flujo.

Existe un equipo llamado "Separador Howard", el cual consta de varias charolas paralelas al flujo del gas, las cuales disminuyen la altura de caída de las partículas y hacen a este equipo menos largo.

Este equipo, es muy usado como pre-limpiador del gas-

que entre a otros equipos más caros y con mayor eficiencia.

2. Ciclones

a) Descripción.

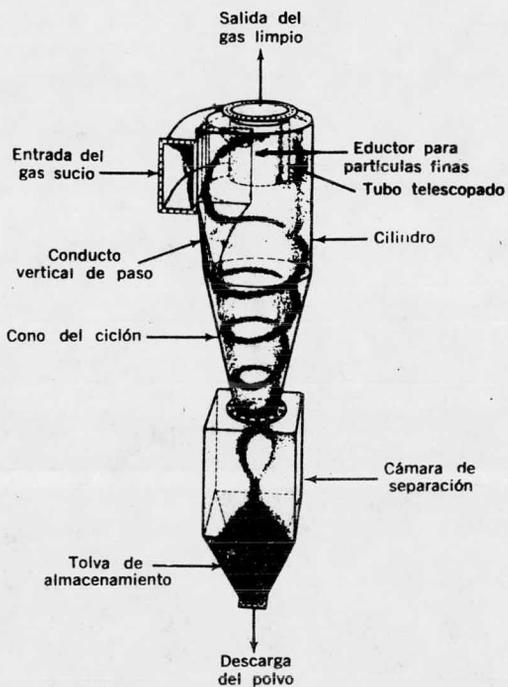
En su forma más simple, un ciclón consiste en: una cámara cilíndrica con una entrada tangencial por la cual el gas entra, un tubo axial de salida para descargar el gas limpio, una base cónica y una tolva para recoger el polvo.

El gas cargado con polvo, entra girando a las secciones cilíndricas y cónica por su periferia y así, el gas que va bajando por la sección cónica, forma otra espiral hacia -- arriba para la salida del aire, las partículas, que vienen bajando en espiral por las paredes del ciclón, resbalan hacia -- la tolva.

b) Consideraciones en el diseño:

CAIDA DE PRESION: No existe aún un método satisfactorio para calcular la caída de presión a través de un ciclón.- Lo mejor que se ha encontrado para determinar la caída de presión en un ciclón dado, es el calcular en un modelo geométrico, y ya que la caída de presión varía en el cuadrado de la velocidad de flujo, los datos obtenidos por medio de modelos, pueden extrapolarse a los ciclones reales en cualquier condición de flujo.

Figura No. 3



CICLON

TAMAÑO DE PARTICULA: La distribución del tamaño de partícula. es la más importante propiedad que afecta a la eficiencia de recolección de un ciclón. El -tamaño crítico de partícula-, es el tamaño de la más pequeña de las partículas- que se pueden extraer completamente (100% de eficiencia) de una corriente cargada de polvo en un colector de ciclón. Por lo tanto, todas las partículas mayores del tamaño crítico, --llegarán a las paredes del ciclón, y las partículas de menor-tamaño, alcanzarán las paredes dependiendo de la distancia --inicial que tengan a éstas. Así, la eficiencia de recolección para partículas de tamaño menor al crítico, será menor del --100%.

CONCENTRACION DEL POLVO: Practicamente, no existe --concentración límite para que un ciclón bien diseñado no pueda manejarla, y ya que esta capacidad no la tienen otros equi-pos, es muy común usar ciclones como pre-limpiadores para gases muy cargados que no puedan manejar colectores secundarios.

DIMENSIONES DEL CICLON: Debido a que los ciclones --usan la fuerza centrífuga como mecanismo básico en la recolección, el grado de eficiencia está en proporción a la cantidad de fuerza centrífuga ejercida sobre las partículas que vienen en la corriente de gas de desperdicio.

En las secciones cónicas del ciclón, la velocidad del

gas, y con ella la fuerza centrífuga, será la mayor en el vértice del cono y por lo tanto, la eficiencia será la mejor. Así también, factores como un cortocircuito del gas dentro del vórtice interno, o un aumento de turbulencia, interfieren con la extracción del polvo.

El grado de recolección de partículas depende de la altura del ciclón, el cual maneja el tiempo de retención de las partículas para su control y extracción. Si el ciclón es muy corto, las partículas pueden entrar e irse al vórtice superior antes de alcanzar la pared y volver a la corriente del gas.

Considerando estos parámetros, la altura y el diámetro del ciclón, será obvio que para unas condiciones constantes de flujo, la máxima eficiencia la podremos obtener en ciclones angostos y relativamente largos.

3. Otros colectores inerciales

a) Colector Louver

Como ya se sabe, cambiando la dirección de flujo de una corriente gaseosa, se pueden separar las partículas del polvo que ésta contiene, mediante la inercia que poseen las partículas, ya que ofrecen mucho mayor resistencia a los cambios de dirección.

Así, el colector Louver está formado de varias cuchillas colocadas en ángulo al paso del gas, en donde las partículas chocan, permitiendo al gas pasar hacia arriba por la fuerza de un extractor y una salida inferior para el polvo.

Los colectores Louver tienen la ventaja de ser sencillos en su construcción y una eficiencia satisfactoria para partículas de mayor tamaño, por lo que son usados como pre-limpiadores o cuando solo es necesario eliminar partículas grandes. Entre sus desventajas está la de la abrasión producida por la velocidad de las partículas, además que las navajas no funcionan para materiales húmedos o pegajosos.

La eficiencia de estos equipos estará en base a la velocidad del gas, el ángulo y espaciamiento de las cuchillas y las propiedades del gas.

b) Cámaras con baffles.

Las cámaras con baffles, son semejantes a las cámaras de sedimentación, con la excepción de que tienen unos baffles que provocan que la corriente gaseosa cambie de dirección a su paso por la cámara. Estos cambios son para acelerar la sedimentación de partículas a través de un sistema de fuerzas inerciales.

En estos equipos la "separación" es mayor a mas altas velocidades, pero también se facilita el reingreso de las partículas a la corriente de salida. El justo medio, estará en función al tamaño y densidad de las partículas.

Las cámaras con baffles, han sido utilizadas satisfactoriamente para partículas de mas de 50 micras y son frecuentemente usadas como pre-limpiadores.

C) [COLECTORES HUMEDOS]

1. Teoría del lavado.

a) Mecanismos de extracción

Los colectores húmedos pueden ser clasificados de --- acuerdo al método de recolección de partículas. [Los dos sistemas mas frecuentes son -transporte líquido- y -acondicionamiento de partículas-.]

[El sistema del transporte líquido] es el mas sencillo, y [consiste en una masa moviente de líquido, llevando partículas de polvo atrapadas a la salida del colector.] La separación de las partículas de la corriente gaseosa, ocurre cuando éstas son "golpeadas" contra de un líquido dentro del colector, el líquido sirve para evitar el regreso de las partícu--

Figura No. 4

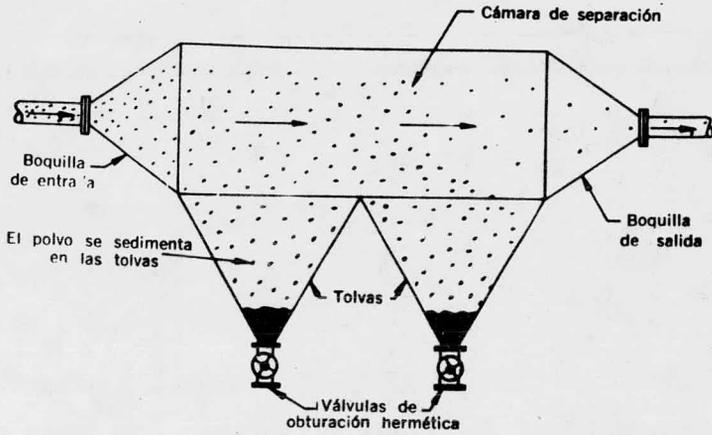
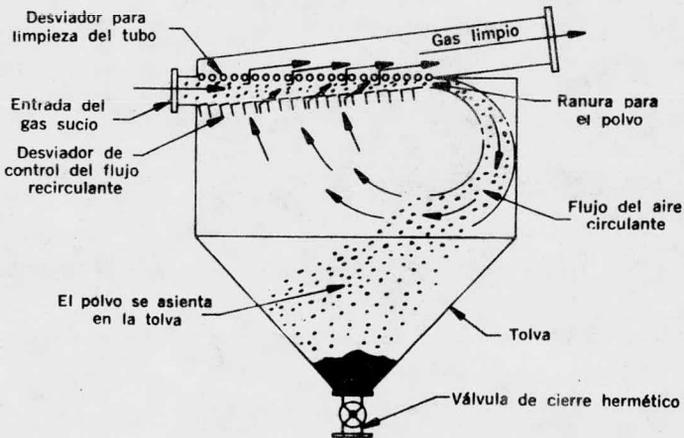


Figura No. 5



CAMARAS DE SEDIMENTACION

POR GRAVEDAD

las al gas y para llevarlas a la salida del equipo y desecharlas.

Debido a la sencillez del sistema, es frecuente su utilización junto con otros aparatos para aumentar la recolección de partículas.

El segundo mecanismo para recolección en húmedo, es el llamado "acondicionamiento de partículas". Este consiste en aumentar el tamaño efectivo de pequeñas partículas, para que la recolección sea mejor, acompañada de otros sistemas de recolección. Esta es la técnica mas comunmente asociada al término "lavado". El aumento del tamaño efectivo de las partículas, es debido a la condensación del agua sobre las partículas y por la intercepción de las partículas con las gotas de agua.

La condensación se lleva a cabo, induciendo la formación de agua sobre las partículas en aerosol, haciendo que la temperatura del agua pase por su punto de rocío. Si la corriente de gas está a alta temperatura, la inyección de agua, inicialmente saturará al gas con vapor de agua, seguido por una caída en la temperatura a través del punto de rocío del agua.

La intercepción de partículas de polvo pequeñas por gotas líquidas, es el mecanismo mayormente usado por equipos-

lavadores de alta eficiencia.

Cuando se coloca un obstáculo en el paso de una determinada corriente de gas cargada con polvo, las líneas de corriente se desvían y pasan alrededor del obstáculo. Debido a su mayor inercia, las partículas tienden a dejar la corriente con la que fueron llevadas al obstáculo y se adhieren a él.

Es una regla general que la eficiencia de intercepción de partículas aumenta conforme aumente la velocidad relativa entre el obstáculo y las partículas de polvo.

Cuando un líquido es inyectado a cualquier velocidad a una corriente de gas a alta velocidad, parte de la energía cinética del sistema gas-líquido se consume en dispersar el líquido en pequeñas gotas. Se ha demostrado que es mejor limpiar una sección dada de una corriente, varias veces con relativamente pequeñas gotas, que pocas veces con gotas de mayor tamaño. El número de sucesivos tratamientos dado a un gas -- con gotas de agua favorece la eficiencia de intercepción. El uso mas eficiente para cualquier líquido lavador estará en la creación de la mayor cantidad posible de gotas, debido a que la probabilidad de que una partícula se adhiera a una gota es mayor.

b) Consideraciones de la eficiencia

Para considerar la eficiencia total de recolección de un sistema usando la intercepción líquida de partículas, es importante distinguir entre la "eficiencia de recolección" y la "eficiencia de adherencia".

Después de que las partículas fueron acondicionadas y que se creó una suspensión líquido-polvo, es relativamente fácil la recolección de esa "pasta", por cualquier mecanismo-inercial. Por lo general, no es la eficiencia en este paso final el factor crítico en el diseño de un lavador, es la eficiencia de adherencia en un lavador, el factor limitante. Tampoco la forma del lavador con irrigación y condensación ha sido generalizada.

El proceso de lavado es extremadamente complejo, por lo que no se han desarrollado análisis teóricos de caída de presión del gas, diseño, tamaño, etc., para compararlo con -- otros desarrollados para colectores inerciales, precipitad--res electrostáticos o filtración.

c) Tamaño de partícula

La eficiencia de lavado, es teóricamente independien--te a la concentración de partículas, pero es directamente de--pendiente al tamaño de ellas. El poder de contacto requerido

para lograr determinada eficiencia, aumenta con la disminución del tamaño de las partículas.

2. Torre de esreado por gravedad.

a) En este equipo de esreado gravitacional, existe una cantidad de obstáculos líquidos esféricos (gotas) cayendo a una torre vacía por la fuerza de gravedad y que a su paso recoge las partículas de polvo.

b) Características.

La máxima eficiencia para las partículas pequeñas, será con gotas de 800 micras aproximadamente, y para las partículas de mayor tamaño, serán gotas de 500 a 1 000 micras de tamaño.

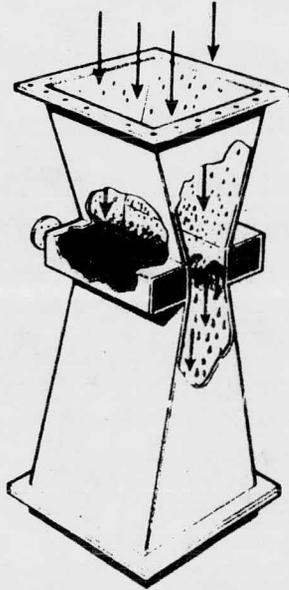
En las torres de esreado gravitacional, existe la duda en el uso de rocíos demasiado finos, a menos que sean muy necesarios.

3. Lavador Venturi

a) Operación

En los lavadores Venturi, los gases sucios pasan a través de un ducto con una sección Venturi y al pasar éstos por la garganta, la velocidad se incrementa y se mantiene de 200 a 600 pies por segundo. En la garganta del Venturi, exis

Figura No. 6



LAVADOR VENTURI

ten unas espreas que inyectan agua en cantidad de 5 a 6 galones por cada 1 000 pies cúbicos de gas tratado, y debido a la velocidad del gas, esta agua se atomiza inmediatamente en pequeñas gotas (50 micras aprox.). Es precisamente aquí, - en donde al entrar las gotas con una velocidad relativa diferente a la de las partículas, que se alcanza la mayor eficiencia de recolección.

4. Precipitadores dinámicos de tipo húmedo.

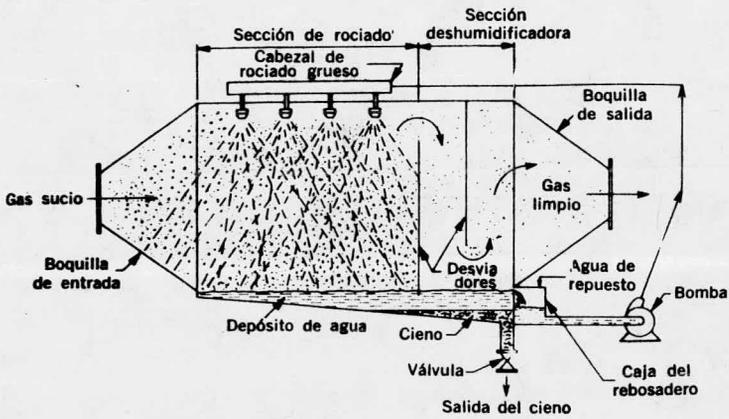
Los precipitadores dinámicos en húmedo, combinan las fuerzas dinámicas de un ventilador, para lograr que las partículas de polvo se adhieran a las numerosas hojas de forma especial que tienen en su interior. Esto es posible, ya que -- las hojas se mantienen siempre húmedas por medio de unos orificios.

5. Lavador por adherencia húmeda.

a) Operación.

Este lavador es una torre consistente de una coraza vertical, en la cual están montadas una gran cantidad de platos circulares perforados, situados a espacios regulares. Cada plato tiene en un lado un conducto, que sirve como "bajante" del líquido hacia el plato inferior. En cada perforación de cada plato, se colocan unos dispositivos para que al chocar en ellos las partículas, se adhieran, puesto que el gas -

Figura No. 7



LAVADOR POR ADHERENCIA HUMEDA

pasa a través de los platos, y en los orificios, se forma un rocío con gotas de 100 micras aproximadamente, en donde se va a adherir el polvo primeramente, para después ir a dar a las piezas de los orificios.

b) Concentración del polvo

Un factor importante en el diseño de estos equipos, es el evitar el atascamiento de los orificios en los platos burbujeadores, ésto se evita con una circulación extremadamente violenta inducida debajo de los platos por los chorros de aire, o con una zona de rocío preliminar, la cual ayuda a conservar los orificios de los platos libres de depósitos.

c) Caída de presión.

Cada plato impone una caída de presión de cerca de -- tres pulgadas de agua manométricas.

6. Colectores de rocío auto-inducido.

a) Operación

En este equipo, la zona desempolvadora consta de una cortina de rocío, la cual es inducida por el flujo del gas a través de un orificio especialmente diseñado. Esta cortina es seguida por un eliminador de rocío. La velocidad del gas, normalmente es de unos 50 pies por segundo, la cual crea go--

tas de aproximadamente 320 micras. Las partículas se eliminan primeramente por adherencia en las gotas durante el período de caída libre de éstas.

b) Uso del agua.

Las cantidades de agua pueden ser grandes, dependiendo del diseño, por lo general, se usan de 10 a 40 galones por cada pie cúbico de gas tratado. La mayoría, o toda el agua, se puede recircular debido a que el rocío es generado sin la ayuda de dispositivos mecánicos o de pequeños orificios.

c) Sensibilidad a cambios en el flujo del gas.

Su forma es poco sensible a los cambios en el flujo del gas, al menos entre el $\pm 25\%$ del diseño.

d) Concentración del polvo.

Su construcción no permite atascamientos que pudieran provocarse por altas concentraciones del lodo.

e) Mantenimiento

Ya que el equipo está siempre bien irrigado, es posible su propio drenado en su interior. No hay partes móviles.

f) Caída de presión

La caída de presión varía según su diseño, pudiendo ser de 2.5 a 6 pulgadas de agua manométricas o más.

g) Aplicación

Debido a que no hay bordes, partes movibles, ni estrechos pasos, estas unidades se adaptan especialmente a los siguientes materiales: Magnesio y polvos explosivos, materiales pegajosos, etc.

7. Lavadores centrífugos en húmedo.

a) Tipos de colectores centrífugos en húmedo.

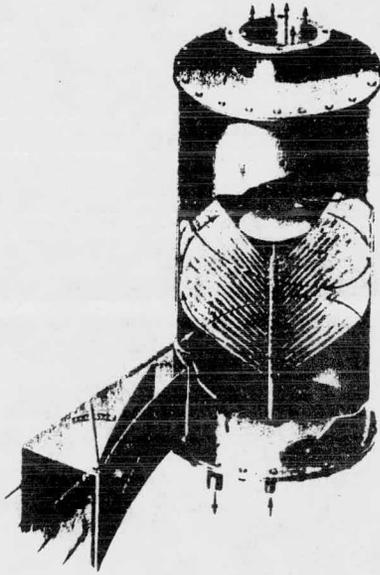
Colectores centrífugos irrigados. Se basan en la simple acción de tirar partículas en contra de superficies húmedas, tales como paredes húmedas o platos de choque, por acción centrífuga.

Ciclones de rocío. Estos dependen del impacto de las partículas sobre gotas de rocío, con la subsecuente precipitación de éstas por la pared del equipo, por fuerza centrífuga.

b) Colectores centrífugos irrigados.

La eficiencia de un ciclón puede ser aumentada irrigan

Figura No. 8



LAVADOR CENTRIFUGO EN HUMEDO

do sus paredes, siempre que los problemas implícitos de un sistema húmedo puedan ser tolerados.

La distribución del agua será por medio de unos orificios de baja presión o por flujo gravimétrico.

c) Ciclones de rocío.

En estos equipos, el gas sucio entra tangencialmente por la base del equipo y sube en espiral a través de un rocío a alta velocidad de finas gotas de agua.

Las partículas de polvo son recogidas entonces por el rocío y juntos, son lanzados por fuerza centrífuga, contra la pared de la cámara.

Tienen también estos equipos una sección seca, en la parte superior de los orificios para que las gotas de agua -- cargadas con polvo, puedan caer antes de que salga la corriente del gas.

D) [PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS]

1. Principio de operación

[La precipitación electrostática requiere de un electrodo de descarga (usualmente negativo) de pequeña área seccional (alambre) y de un electrodo colector (usualmente posi

tivo y con potencial a tierra) de gran área de superficie (como un plato). Requiere también de un campo eléctrico de alto potencial de corriente directa (70 000 volts), entre los dos electrodos. Y, por supuesto, del gas a limpiar, que pasará por entre los electrodos.

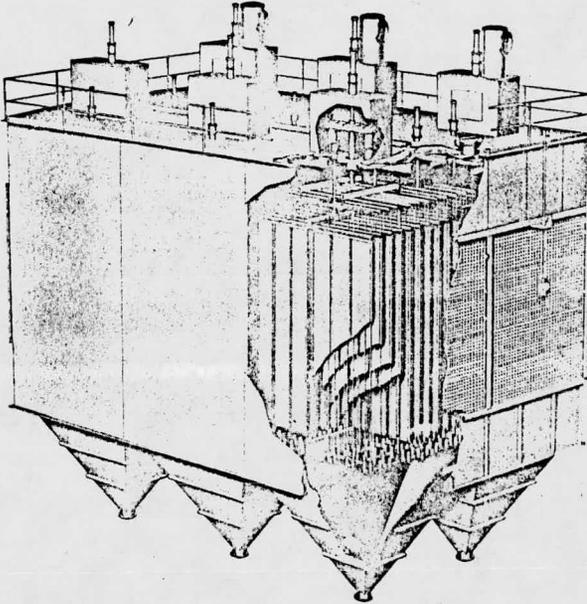
A ciertos voltajes críticos, la ionización de las moléculas del aire (las moléculas del aire se disocian en iones positivos y negativos) ocurre en, o cerca de la superficie de descarga (electrodo negativo). La ionización de las moléculas del aire es indicada por una "corona" en el electrodo de descarga. Los iones negativos se mueven hacia la superficie colectoras positiva, mientras que los iones cargados positivamente, se mueven hacia el electrodo de descarga negativo.

Conforme los iones del aire se mueven, 'atacan' a las partículas neutras que trae el gas, logrando que éstas migren hacia el electrodo apropiado. La carga de las partículas suspendidas, se lleva a cabo en centésimas de segundo y por lo tanto, en las primeras pulgadas del campo del precipitador.

Los iones negativos, que se mueven hacia el electrodo positivo (colector), tienen que viajar una mayor distancia -- que los iones positivos, que se forman cerca y migran hacia el electrodo de descarga o negativo. Así, los electrones negativos hacen contacto con un mucho mayor número de partícu--



Figura No. 9



PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

las, resultando un depósito abrumador en el electrodo positivo, en comparación al electrodo negativo o de descarga.

Cuando las partículas cargadas hacen contacto con los electrodos, se neutralizan electricamente y después es relativamente fácil eliminarlas por golpeo, lavado o por gravedad.

Entonces, se puede resumir la precipitación electrostática en cuatro pasos:

a) Carga eléctrica de partículas por ionización.

b) Transporte de las partículas cargadas por la fuerza ejercida entre ellas y la superficie colectora en el campo eléctrico.

c) Neutralización de las partículas precipitadas en la superficie colectora.

d) Eliminación de las partículas neutralizadas.

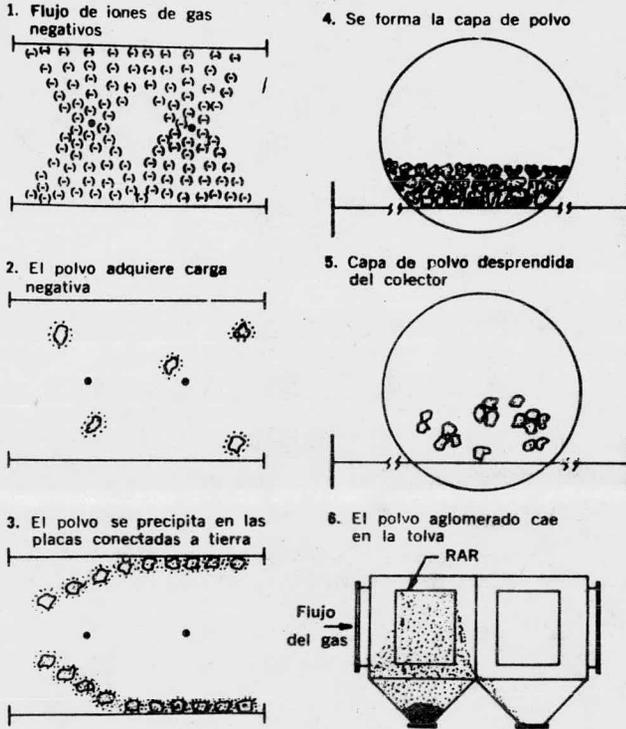
2. Tipos de precipitadores electrostáticos.

a) Clases de precipitadores electrostáticos.

Existen dos clases principales de precipitadores electrostáticos: [Precipitadores de un paso (tipo Cottrell) y precipitadores de dos pasos.]

b) Precipitadores electrostáticos de un paso (Cottrell).

Figura No. 10



PRECIPITADOR TIPO COTTRELL

Este tipo de precipitadores [combinan la ionización y la recolección en un solo paso.]

c) Precipitadores electrostáticos [en dos pasos.]

En este tipo de equipos, [hay un paso de pre-ionización, seguido por uno de recolección,] por ello no son muy utilizados para altas concentraciones de polvo. Así, su principal uso es el acondicionamiento de aire de las plantas industriales.

3. Componentes de un precipitador electrostático.

a) Los principales son:

- Fuente de poder de corriente directa de alto voltaje.
- Sistema de electrodos.
- Una cámara en donde se pueda efectuar la precipitación.
- Un método para extraer el material recolectado.

b) Fuente de poder.

Para tener una máxima eficiencia en la operación de un precipitador electrostático, es importante que la fuente de poder pueda dar a los electrones una corriente directa, con un potencial muy cercano al cual se produzca un arco entre los electrodos. El equipo de poder puede tener cuatro partes:

Fuente de poder de entrada. Estas instalaciones son-

diseñadas para un rango de voltaje de entrada de 110 volts y un rango de consumo de 2.5 a 30 KVA.

Rectificadores de alto voltaje. Existen diversos tipos de rectificadores que se pueden usar actualmente, los más comunes son los mecánicos, bulbos y unidades rectificadoras de selenio.

Método de regulación de voltaje. Debido a que la máxima eficiencia ocurre en aquel voltaje cercano a aquel que produzca arco entre los electrodos, es indispensable tener un equipo regulador integrado a la unidad de poder, para prevenir el "arqueo" de los electrodos durante la operación del precipitador. Algunos de los sistemas actuales de regulación emplean balastras, reactores limitadores de corriente, transformadores de tiratón, reactores saturables y capacitores.

Corriente de salida. La corriente sale con un voltaje de 13 000 a 90 000 volts y una corriente de 20 a 400 ma.

c) Sistema de electrodos:

Los precipitadores electrostáticos tienen dos tipos de electrodos, los electrodos ionizadores de alto voltaje (electrodo de descarga) y los electrodos colectores.

Electrodos ionizadores. Generalmente se energizan ne

gativamente y deben estar colocados, de tal modo que nunca toquen la coraza del precipitador. Debe estar correctamente -- centrado entre los electrodos colectores, ya que de otra manera es imposible mantener el máximo de voltaje, con la consiguiente baja eficiencia. Para facilitar la formación de una corona al rededor de un electrodo de descarga, éste deberá -- ser pequeño, o bien tener orillas afiladas. Hay varias formas de electrodos de descarga, tanto en uso, como en investigación. Estas son: Varillas de alambre de acero (# 10), varillas cuadradas de acero (3/16"), varillas cuadradas de acero en espiral (1/8", 3/16", 1/4"), etc.

Electrodos colectores. Se ha puesto mucha atención a estos electrodos, ya que el éxito de la precipitación depende grandemente de ellos. Los electrodos colectores, deben tener las siguientes propiedades: máxima superficie para recolección, no tener tendencia a doblarse o deformarse, resistencia a la corrosión, evitar el reingreso de las partículas de polvo recolectadas. Si la extracción de polvo del electrodo colector implica sacudir el electrodo, éste no deberá ser demasiado ancho o estar fijo en su montaje.

d) Cámara de precipitación.

Las corazas de los precipitadores pueden ser construidas con cualquiera de los siguientes materiales:

Concreto reforzado, siempre que la temperatura de operación no exceda los 450°F, para temperaturas mayores de 500°F, no son recomendables. Soportes de concreto reforzado y paredes de ladrillo y azulejo. Acero, que permite la compra de piezas grandes y de ser pre-construido.

Materiales resistentes a la corrosión: plomo, lana, ladrillo y cemento resistentes a los ácidos, carbón, aceros especiales y aleaciones.

e) Eliminación del material precipitado del electrodo colector.

Precipitadores de tipo húmedo. En los precipitadores de tipo húmedo, la materia precipitada solamente fluye de los electrodos colectores, con el paso del agua. El éxito de los precipitadores de película de agua, depende de la uniformidad de mojado en el interior de los tubos de recolección. Es importante entonces, que no quede grasa o alguna incrustación en los tubos. Si el agua es recirculada, los sólidos y otros materiales recolectados deberán ser eliminados.

Precipitadores de tipo seco. Uno de los problemas -- mas importantes en la eliminación del material precipitado, en un precipitador de tipo seco, tanto del electrodo colector, como del de descarga, es la prevención del reingreso del pol-

vo a la cámara. Los sistemas de limpieza obedecen a la experiencia con el tipo específico de polvo a remover. Por ejemplo, algunos materiales se adhieren fuertemente; algunos, caen fácilmente; otros son buenos conductores; algunos interfieren aún cuando estén depositados en una capa fina, y que requieren su continua eliminación.

Hay dos métodos para eliminar los polvos recolectados en este tipo de precipitadores.

Golpeo:

Los métodos de golpeo varían desde métodos manuales - hasta mecánicos. El golpeo mecánico está formado por un motor eléctrico, aire comprimido o con un imán. Los "golpeadores" - deberán estar aislados a tierra todo el tiempo.

Los intervalos de tiempo entre los golpes deben ser - medidos para que los siguientes impactos no interfieran con - las vibraciones impartidas por el golpe anterior. La velocidad de golpeo, se determina generalmente por prueba y error. - También es importante la fuerza del golpeo, ya que un golpeo - demasiado fuerte es innecesario y puede ser destructivo.

Lavado:

En el lavado, se hace necesaria la aplicación de un - adhesivo a los electrodos colectores, para algunos tipos de -

polvos, ya que la extracción del material acumulado se lleva a cabo sobre los electrodos por un método de lavado.

Una vez que termina el ciclo de lavado, se aplica nuevamente el fluido adhesivo, antes que la unidad se ponga en operación.

E) GASES Y VAPORES

1. Introducción

El método mas usado para controlar contaminantes gaseosos, dependerá siempre de sus propiedades. Entre los diversos métodos, encontramos:

- Combustión de flama
- Combustión catalítica
- Absorción
- Adsorción
- Sistemas de recolección cerrada y recuperación (para vapores de hidrocarburos)
- Enmascaramiento y neutralización (para olores).

2. Combustión

a) El proceso de combustión puede ser utilizado con gran ventaja cuando los gases o vapores a ser controlados, son de naturaleza orgánica.

b) [En la combustión de flama,] existen cuatro factores que gobiernan la eficiencia y economía [para el control de los contaminantes gaseosos:]

- Temperatura
- tiempo
- oxígeno
- turbulencia }

Los equipos que emplean este sistema, incluyen incineradores de humo y vapor, post-quemadores y encendedores, tanto de inyección de vapor, como Venturi.

El proceso de destrucción de los productos de combustión, es de la siguiente forma: Los gases y vapores liberados de un calentador de fuego directo, como productos de combustión, no se incinerarán cuando se recirculen a través del calentador a la temperatura normal de éste. La completa combustión se logra entonces, en una cámara de combustión separada llamada post-quemador, con una temperatura mantenida de -- 900°F a 1 400 °F.

Los post-quemadores tienen provisiones para mantener una mezcla completa y continua del gas contaminado y la flama del quemador auxiliar. La cámara está proporcionada de tal modo que los patrones de velocidad y flujo del gas estableci-

dos, produzcan un tiempo de retención adecuado en la zona de combustión. A temperaturas de 1 200 °F y mayores, el tiempo-promedio de retención en tales unidades es de 0.2 a 0.3 segundos. Los humos de combustión pueden ser quemados de la misma manera, como productos de combustión, en una cámara de combustión similar.

Los encendedores, son usados primordialmente para disponer de gases hidrocarburos, que pueden ser liberados intermitentemente en ciertos procesos.

c) Aplicaciones selectas de la combustión de flama.

En la industria de barnices y pinturas se usan incineradores de humo para disponer de los humos emitidos en las ollas usadas en el proceso de cocimiento.

Las industrias del café, usan este método para deshacerse de los olores de sus gases de escape. Los quemadores Venturi y el tipo Premezcla, son los mas frecuentemente usados en estas unidades.

El uso de post-quemadores en incineradores es en mayor o menor grado bueno, dependiendo la clase de post-quemador usado y el tipo de incinerador: Los incineradores residenciales con cámara post-quemadora incluida en el diseño de la unidad, son aprovechables. Las emisiones de chimeneas ca-

seras pueden ser controladas por la instalación de post-quemadores en el sótano (baja en un 50% la emisión de partículas)-o en la azotea (baja en un 95% la emisión).

El uso de encendedores arrestadores de flama, es muy-extenso en operaciones de refinera, para disponer de los --- grandes escapes de hidrocarburos causados por condiciones anor- males (como descompostura del compresor, etc.). El diseño -- del arrestador debe ser para la combustión de gases de compo- sición variable y de muy diversos rangos de flujo. Los arres- tadores Venturi mezclan aire con el gas en una relación ade-- cuada previamente a la ignición, para lograr un quemado sin - humo.

Los quemadores de inyección de vapor, mezclan éste -- con los gases de chimenea, según éstos alcanzan la parte más- alta. La inyección de vapor suprime la formación de carbón:

- Separando las moléculas de hidrocarburos, y así re- duciendo la polimerización.

- Induciendo la formación de compuestos oxigenados, - los cuales se queman a menores rangos y a temperaturas que no conducen al cracking o a la polimerización.

d) [Combustión catalítica.]

[Es aplicable cuando la concentración de la porción -- combustible de la corriente del gas está por debajo del rango

de inflamación. También se usa en lugar de la combustión deflame, cuando se tratan grandes volúmenes de gas frío que harían prohibitivos los costos del combustible. Otra aplicación, es cuando se desean bajas temperaturas de operación.

Entre las principales características, está la baja resistencia al flujo de los gases, una buena superficie específica y además se pueden hacer arreglos de forma que provean mezclados turbulentos de los gases de proceso.

Operación: Los gases de proceso pasan sobre unos elementos especiales recubiertos con un material catalítico, y los constituyentes oxidables del gas reaccionan con el exceso de oxígeno para formar dióxido de carbono y vapor de agua, liberando calor. Entre los catalizadores de interés para las reacciones de oxidación están ciertos óxidos de metal como platino y aleaciones de rodio-platino.

La combustión catalítica de la mayoría de los constituyentes orgánicos que están en los escapes de los gases de proceso, se inician y mantienen a 500°F aproximadamente. Si los gases están mas fríos antes de entrar en contacto con el catalizador, éstos deberán ser precalentados. Si la concentración de constituyentes oxidables en los gases de proceso es suficientemente alta, se liberará suficiente calor para las reacciones de oxidación en la superficie del catalizador,

para hacer posible que se elimine el combustible auxiliar, -- después de que la combustión se ha iniciado.

El aumento de temperatura deberá ser suficiente para hacer económico el empleo de un intercambiador de calor para otros propósitos, tales como precalentar los gases o generar vapor, etc. Se pueden tener también ahorros sustanciales, -- usando intercambiadores de calor o recirculando algunos de -- los gases que salen del sistema catalizado.

Las principales limitaciones de este sistema son: el rango óptimo de temperatura está entre 500 y 1 800°F, el tratamiento de gases que contengan cantidades excesivas de partículas, tales como cenizas o humos de zinc, plomo y mercurio, reducen la efectividad de la unidad, ya que llegan a recubrir al catalizador.

e) Aplicaciones selectas.

Controla los gases, humos y olores de:

- hornos de cocción de pinturas y esmaltes
- procesos de tostado de café
- hornos de fundición
- plantas químicas con descarga de anhídridos maléico y ftálico.
- peroles usados para cocer carne, vegetales y aceites minerales.

- hornos de resina-fenol
- quemado de gases de desperdicio de cracking en refinerías.

3. [Absorción.]

a) Principio

[Los gases efluentes son pasados a través de absorbedores (lavadores), los cuales contienen líquidos absorbentes - que eliminan,] tratan o modifican uno o más de [los constituyentes nocivos de la corriente de gas.]

[La eficiencia de la extracción] depende de varios factores:

- La cantidad de superficie de contacto entre el gas y el líquido. A mayor superficie, mayor será la absorción.
- El tiempo de contacto.
- La concentración del medio absorbente.
- La velocidad de reacción entre el absorbente y los gases.]

b) Líquidos absorbentes.

Los líquidos absorbentes pueden ser reactivos o no-reativos. Los líquidos no-reativos disuelven el gas sin -- reacción química alguna. Un líquido reactivo elimina al contaminante a través de una reacción química, transformándolo - en una forma menos nociva.

Hay dos clases de reactivos líquidos, los de tipo regenerativo y los no-regenerativos. Los primeros pueden ser tratados y re-usados, mientras que los otros deberán ser descartados después de una aplicación.

[Los absorbentes se usarán para eliminar:

- dióxido de azufre
- sulfuro de hidrógeno
- trióxido de azufre
- fluoruros
- óxidos de nitrógeno.]

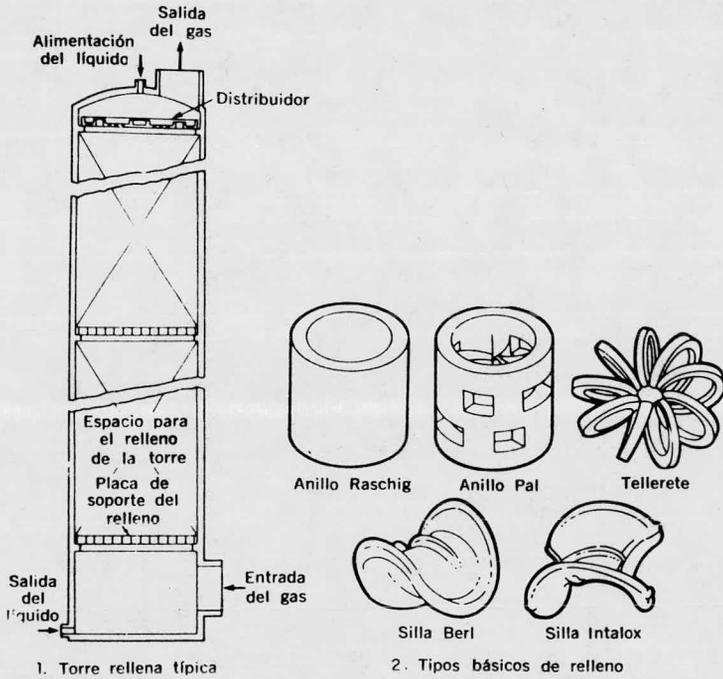
c) [Absorbedores (equipo):

[Torre empacada.] Consiste en una coraza vertical, --
llena con un material para su empaque. El líquido fluye sobre la superficie del empaque en delgadas capas, presentando el líquido una gran superficie de contacto con el gas.

[Torre de platos.] Consiste en una coraza vertical en la cual están montados un gran número de platos perforados, - de manera equidistante entre sí. Los gases y vapores suben - burbujeando a través del sello del líquido que se forma en ca da orificio. Esta operación impide que el líquido pase a tra vés de los orificios.

Torre de platos con capuchón. Consiste en una coraza vertical en la cual están montados a igual distancia entre sí,

Figura No. 11



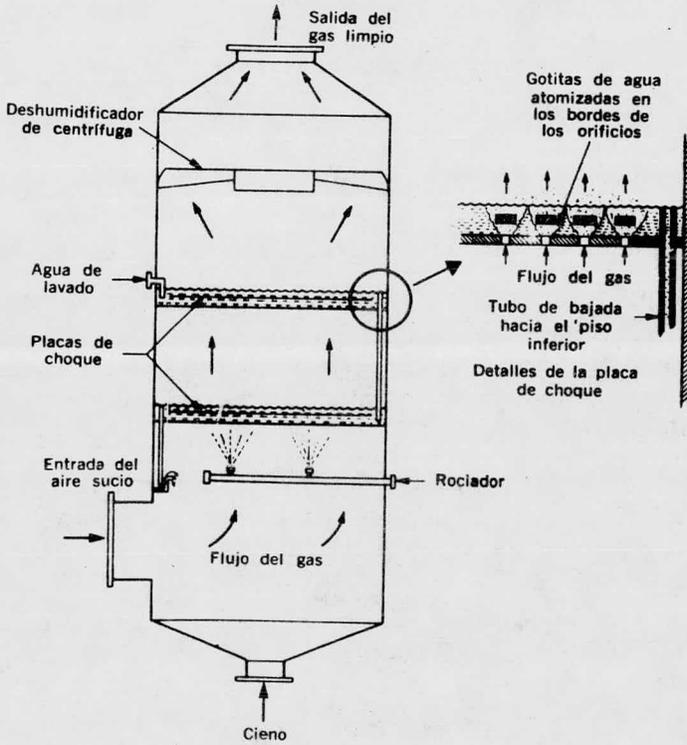
TORRE EMPACADA Y EMPAQUES COMUNES

un gran número de platos circulares perforados con capuchones burbujeadores. El gas sube por la chimenea y es desviado por los capuchones y descargado como pequeñas burbujas por las aberturas de los capuchones de su base a través del líquido.

Torre de esparado. Esta torre rocía o esprea el líquido absorbente a través del gas, proporcionando turbulencia en la fase gaseosa (al rededor de las gotas), lo cual es muy efectivo cuando se tratan gases sumamente solubles. Cada gota del líquido entra en contacto con un volumen de gas igual al área seccional de la gota, multiplicada por la longitud de paso de la gota a través del gas. Aplicando la fuerza centrífuga y el rocío de líquido a través del paso del gas, es como se puede obtener un mayor contacto entre el gas y el líquido.

Lavador de líquido a chorro. Este equipo es un lavador en donde los gases y vapores son inducidos por la parte superior y entran en contacto con un chorro de líquido absorbedor. Las limitaciones que ofrece este sistema son serias, contándose entre ellas: que se requieren temperaturas por debajo de los 100°C para una operación adecuada, ésto hace necesario el enfriar los gases, destruyendo el flujo natural e imponiendo un sistema de enfriamiento en la planta. También, existe algún arrastre de absorbente y por lo tanto, se crea un nuevo problema de contaminación, a menos que se instalen separadores adecuados. Puede además haber problemas de corrosión.

Figura No. 12



TORRE DE ESPREADO POR GRAVEDAD

4. Adsorción.

a) Principio

Los gases efluentes pasan a través de adsorbedores -- que contienen sólidos de naturaleza porosa, y éstos atrapan a los gases en su superficie, en donde son detenidos. La cantidad de gas que pueda ser adsorbida dependerá de la concentración del gas (presión y temperatura), de las características físicas y químicas del adsorbente, y de el área por gramo de adsorbente.

En la eliminación de contaminantes atmosféricos por adsorción se necesitan tres pasos, que son:

Contacto del contaminante gaseoso con el sólido adsorbente.

Separación (desorción) del gas adsorbido por el sólido (regeneración) o reemplazo del adsorbente.

Recuperación de los gases para su disposición final (cuando se practica la regeneración).

b) Materiales comunmente usados en adsorción.

- Carbón activado
- Sílica gel.
- Cloruro de Litio.
- Alúmina activada

- Bauxita activada.

c) Limitaciones en tamaño de contaminante.

El tamaño máximo, está generalmente en el rango del tamaño molecular. Deberán ser suficientemente pequeños para que el movimiento Browniano asegure el contacto efectivo por choque entre ellos y el adsorbente.

El límite inferior en tamaño está fijado por el requerimiento de que el contaminante deberá ser mayor en peso molecular que el de los componentes normales en el aire. Generalmente, un peso molecular mayor de 45 es fácilmente removido por adsorción física.

d) Desorción.

La desorción puede ser realizada elevando la temperatura de la cama granular, arriba de la temperatura de ebullición del contaminante adsorbido. La temperatura podrá ser elevada usando vapor sobrecalentado, circulando aire caliente o gases de combustión.

La desorción puede efectuarse también reduciendo la presión, o como en el caso de aceites y productos de petróleo, por incineración o también por tratamiento químico.

e) Adsorbedores con carbón activado.

El carbón activado parece ser el adsorbedor más adecuado para recuperar vapores de solventes orgánicos. Adsorbe sustancialmente todos los vapores del aire sin importar la variación en concentración, temperatura y condiciones de humedad. La adsorción de vapores de solventes orgánicos es virtualmente al 100% de eficiencia e independiente a la concentración, hasta que se llegue a la saturación. Además, en la recuperación, se pueden esperar eficiencias del 90% aproximadamente.

C A P I T U L O VII
REGULACIONES OFICIALES

Es importante, en el control de la contaminación ambiental, el conocimiento de las leyes o normas que rigen la emisión de contaminantes a la atmósfera, ya que en base a éstas, se instalarán los equipos y accesorios necesarios para el control, de una manera adecuada y económica.

A continuación se transcribe lo concerniente a la emisión de humos y polvos, que dicta la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental:

[REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA ORIGINADA POR LA EMISIÓN DE HUMOS Y POLVOS]

CAPITULO I. Disposiciones Generales

ARTICULO 1. Este reglamento rige en toda la República y tiene por objeto proveer, en la esfera administrativa, a la observancia de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, en cuanto a la emisión de humos y --

polvos en el aire.

ARTICULO 2. El Consejo de Salubridad General podrá - dictar las disposiciones generales para prevenir y combatir - la contaminación ambiental, a que se refiere este Reglamento. La aplicación de este Reglamento compete en forma directa al Ejecutivo Federal, por conducto de la [Secretaría de Salubridad y Asistencia] y en coordinación esta, con la Secretaría de Industria y Comercio, en materia de prevención y control de - la contaminación atmosférica causada por actividades indus--- triales, comerciales o de transportación. Las demás autorida des que dependen del Ejecutivo Federal, de los ejecutivos de los Estados, de los Territorios y de los Ayuntamientos, auxiliarán a las anteriores mencionadas en la aplicación de este Reglamento, sin perjuicio de las atribuciones que le son propias.

ARTICULO 3. En lo no previsto por este Reglamento, - la Secretaría de Salubridad y Asistencia dictará las disposiciones técnicas y las medidas de observancia general y obliga toria a que deberán sujetarse las personas físicas o morales - de caracter público o privado, que instalen, utilicen u ope-- ren fuentes emisoras de contaminantes.

ARTICULO 4. [El Ejecutivo Federal dictará o promoverá ante el Congreso de la Unión,] en su caso, las medidas fisca--

les convenientes para facilitar a las industrias establecidas, a las que en el futuro se establezcan y a las que decidan desplazarse a nuevas zonas industriales, la fabricación, adquisición e instalación de equipos y aditamentos que tengan por objeto evitar, controlar o abatir la contaminación causada por emisión de humos y polvos a que se refiere este Reglamento, así como para promover la creación de nuevas zonas industriales en la República.

Para estos propósitos, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y la de Industria y Comercio, realizarán los estudios conducentes, particularmente aquellos que tiendan a facilitar la fabricación de equipos o la importación de los que no se produzcan en el país: la exención o reducción de impuestos; la autorización para depreciar aceleradamente con fines fiscales, los equipos sustituidos o de nueva adquisición y otras franquicias.

ARTICULO 5. Las autoridades encargadas de la aplicación de la Ley y de este Reglamento, distarán los instructivos y circulares necesarios para proveer a su cumplimiento.

ARTICULO 6. Se dará atención especial al control de las fuentes de contaminación siguientes:

I. Incineración de basura;

- II. Refinerías;
- III. Termoeléctricas;
- IV. Ferrocarriles;
- V. Vehículos automotores;
- VI. Plantas industrializadoras de gasno y productoras de fertilizantes; y.
- VII. Plantas de concreto asfáltico.

ARTICULO 7. Para establecer nuevas industrias, cuyas actividades puedan producir contaminación atmosférica por emisión de humos y polvos o para ampliar las existentes, se requiere licencia de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, - la que se otorgará, en coordinación con la Secretaría de Industria y Comercio, si los solicitantes comprueban que se ajustan a las normas de prevención y control de la contaminación atmosférica, así como a las demás disposiciones sanitarias.

ARTICULO 8. Para obtener la licencia a que se refiere el artículo anterior el solicitante deberá someter a la - - Secretaría de Salubridad y Asistencia, un estudio en el que se indicará:

- I. Ubicación;
- II. Materias primas, productos, subproductos y desechos;

- III. Descripción del proceso;
- IV. Distribución de maquinaria y equipo;
- V. Cantidad y naturaleza de los contaminantes esperados; y
- VI. Equipos de control de la contaminación.

La secretaría de Salubridad y Asistencia expedirá o negará la licencia correspondiente, dentro de los treinta días siguientes de presentada la solicitud.

CAPITULO II. Emisión de humos y polvos.

ARTICULO 9. Se prohíbe la combustión cielo abierto, excepto en los casos siguientes:

- I. Cuando se efectuó con permiso de la autoridad competente, para:
 - a) Instruir sobre procedimientos que tengan como fin combatir el fuego, y.
 - b) Destruir materiales peligrosos que no sea posible eliminar por otros medios, sin causar un riesgo.

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

- III. Cuando sea indispensable en los proceso agrícola--
las;
- IV. Cuando se trate de evitar la suspensión total o
parcial de un servicio público;
- V. Por razones sanitarias de interés colectivo;
- VI. Con fines de construcción o demolición en obras--
de interés público; y
- VII. Cuando el fuego se use para cocinar al aire li--
bre y no provoque molestias.

ARTICULO 10. Las emisiones de humo, provenientes de
equipos estacionarios de combustión existentes, con exclusión
de incineradores, no deberán ser mas oscuras en apariencia --
que la señalada con el número dos en la escala conocida como
Carta de Humo de Ringelmann, ni de tal opacidad que oscurez--
can la visión del observador, en un grado mayor que el humo -
correspondiente al número dos de la Carta mencionada: en nin--
guno de ambos casos, las emisiones deberán exceder de perío--
dos de más de cinco minutos en una hora.

ARTICULO 11. Las emisiones de humo, provenientes de
equipos estacionarios de combustión nuevos, con exclusión de
incineradores, no deberán ser más oscuras en apariencia que -
la señalada por el número dos de la carta de humo de Ringel--
mann, ni de tal opacidad que oscurezcan la visión del observa--
dor en un grado mayor que el humo correspondiente al número -

dos de la mencionada Carta, excepto en períodos de arranque, siempre que no excedan de tres minutos.

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

ARTICULO 13. Las emisiones de humo, provenientes de vehículos o equipos accionados por motores de combustión interna (Ciclo Otto de gasolina), no deberán tener una duración mayor de diez segundos consecutivos.

ARTICULO 14. Las emisiones de humo, producidas por vehículos o equipos accionados por motores de combustión interna que operen con combustible diesel (Ciclo Diesel), no deberán ser de una opacidad o densidad de humo, por períodos mayores de diez segundos, igual o mayor que la correspondiente al número dos de la carta de humo de Ringelmann, excepto el período de calentamiento inicial del motor, el cual no deberá exceder de quince minutos.

ARTICULO 15. Las emisiones de humo, producidas por -

Locomotoras accionadas por motores Ciclo Diesel, no deberán ser de una opacidad o densidad de humo mayor que la correspondiente al número tres de la Carta de Humo de Ringelmann, en un período o períodos que sumados no sean mayores de treinta segundos, durante un lapso de tres minutos consecutivos, excepto el período de calentamiento inicial.

ARTICULO 16. La Secretaría de Salubridad y Asistencia, mediante instructivos que expida, describirá las características, uso e interpretación de la Carta de Humo de Ringelmann, que servirá para evaluar las emisiones de humo a que se refieren los artículos anteriores; asimismo describirá cualquier otro método o norma técnica a que se refiere este Reglamento.

ARTICULO 17. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de la Dirección General de Autotransporte Federal: el Departamento del Distrito Federal y los Gobiernos de los Estados y Territorios, a través de las oficinas de Tránsito correspondientes, comprobarán el estado de los motores de toda clase de vehículos de gasolina o diesel, a efecto de que aquellos que se encuentren en manifiesto mal estado o cuando no se haya cumplido con las órdenes dictadas con motivo de la revisión, sean retirados de la circulación para ser reparados.

ARTICULO 18. En las ciudades, el tránsito de vehículos que utilicen combustible diesel, como camiones o autotransportes provistos con chimenea, se efectuará dentro de las - - areas, rutas y horarios que fijen las autoridades auxiliares-competentes.

Las maniobras de carga y descarga de autotransportes, que se lleven a cabo en la vía pública, se efectuarán dentro de los horarios que señalen las mencionadas autoridades.

ARTICULO 19. Los Gobiernos de las Entidades Federativas, promoverán la construcción de terminales de autotrans--portes de servicio público, en la periferia de las ciudades.

ARTICULO 20. En toda operación, proceso o actividad industrial, la emisión de polvos no deberá exceder de las cantidades indicadas en la tabla número 1, en relación al peso - del proceso correspondiente, o en la tabla número dos, en relación al volumen de gas en la fuente, en metros cúbicos.

ARTICULO 21. Las tablas números uno y dos, empleadas para la evaluación de las emisiones de polvo a que se refiere el artículo anterior, son las siguientes:

TABLA 1

Peso del Proceso	Emisión máxima permitida, Kg/h.	
Ton/h	Industria Nueva.	Industria existente
0.025	0.489	0.652
0.050	0.780	1.040
0.100	1.239	1.652
0.220	1.974	2.632
0.300	2.589	3.452
0.400	3.141	4.188
0.500	3.648	4.864
0.750	4.788	6.348
1.000	5.805	7.740
1.250	6.741	8.988
1.500	7.617	10.156
2.000	9.237	12.316
2.500	10.725	14.300
3.000	12.120	16.160
3.500	13.437	17.916
4.000	14.694	19.592
4.500	15.900	21.200
5.000	17.064	22.752
6.000	19.281	25.708
8.000	23.382	31.176
10.000	27.153	36.204
15.000	35.625	47.500
20.000	43.200	57.600
25.000	50.166	66.888
30.000	55.572	74.096
35.000	57.462	76.616
40.000	59.127	78.836
45.000	60.564	80.752
50.000	61.926	82.568
60.000	64.269	85.693
70.000	65.556	87.408
80.000	68.052	90.736
100.000	71.154	94.872
500.000	95.436	127.248
1000.000	107.313	143.084
3000.000	130.080	172.650

La interpolación de los datos de esta tabla para peso de proceso hasta 28.5 toneladas por hora, para industria nueva debe hacerse usando la ecuación: $E = 5.805 P^{0.67}$ y para industria existente debe hacerse usando la ecuación: $E = 7.740 P^{0.67}$. La interpolación y extrapolación de los datos para pesos de proceso mayores de 28.5 toneladas por hora para industria nueva debe llevarse a cabo usando la ecuación: $E = 75.648 P^{0.11-54.42}$. Para industria existente la interpolación y extrapolación de los datos para peso de proceso mayores de 28.5 toneladas por hora debe efectuarse usando la ecuación: $E = 100.864 P^{0.11-72.56}$. En donde E = relación de emisión kilogramos/hora y P = peso del proceso en toneladas/hora.

TABLA 2

Volumen de gas ₃ en la fuente m ³ normal.	Concentración indus- tria nueva mg/m ³ -- normal.	Concentración- industria exis- tente mg/m ³ -- normal.
100	849.0	1132.0
125	795.0	1060.0
150	750.0	1000.0
175	714.0	952.0
200	648.0	912.0
300	600.0	800.0
400	543.0	724.0
500	510.0	680.0
750	444.0	592.0
1000	405.0	540.0
1500	357.0	476.0
2000	324.0	432.0
3000	285.0	380.0
4000	258.0	344.0
5000	240.0	320.0
7500	210.0	280.0
10000	192.0	256.0
40000	123.0	164.0

Volumen de gas ₃ en la fuente m ³ normal.	Concentración indus- tria nueva mg/m ³ -- normal.	Concentración industria - existente - mg/m ³ nor-- mal.
50000	114.0	162.0
15000	168.0	224.0
20000	154.2	205.6
30000	135.0	180.0

ARTICULO 22. Cuando la aplicación de la tabla número uno no sea posible, se aplicará la número dos.

ARTICULO 23. Cuando más de una fuente de operación o combinaciones de éstas que formen parte de una fuente de operación múltiple, sean ventiladas a través de chimeneas separadas, la relación de la emisión permitida para las chimeneas - separadas debe ser determinada por la siguiente fórmula:

$$E_f = E_t \frac{p_f}{p_t}$$

E_f= La emisión permitida a cada una de las chimeneas por separado que ventilan la fuente de operación de que se -- trate.

E_t= La emisión total permitida para la fuente de ope-- ción múltiple.

Pf = Es el peso de proceso correspondiente a la fuente de operación u operaciones ventiladas a través de chimeneas separadas.

Pt = Es el peso total de proceso para la fuente de operación múltiple.

ARTICULO 24. La emisión de polvos deberá referirse a condiciones normales de temperatura (25 °C) y de presión (760 mm de mercurio).

ARTICULO 25. Se exceptúa de las limitaciones para la emisión de polvos en toda operación, proceso o actividad industrial, el quemado de combustibles para calentamiento indirecto, en el cual los productos de combustión no estén en contacto directo con los materiales del proceso y los procesos de recuperación de materiales por combustión.

ARTICULO 26. Los cubilotes de fundición deben equiparse con aditamentos para limpieza de gases que operen separando el 80% en peso, de todos los polvos en los gases de descarga del cubilote.

ARTICULO 27. Se exceptúan de lo dispuesto en el artículo anterior:

- I. Los períodos de prueba de un cubilote nuevo; y
- II. Las operaciones de arranque y paro de operación o cuando se haga limpieza del equipo de control de contaminación atmosférica del cubilote.

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

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

ARTICULO 30. En toda operación, proceso o actividad-

industrial en que sean usados combustibles sólidos para calentamiento indirecto y los productos de combustión no estén en contacto directo con los materiales del proceso y con una capacidad menor de 40 millones de kilocalorías por hora, no se permitirá una emisión mayor de 1.5 kilogramos de polvo por cada millón de kilocalorías por hora.

En toda operación, proceso o actividad industrial en que sean usados combustibles sólidos para calentamiento indirecto y los productos de combustión no estén en contacto directo con los materiales del proceso y con una capacidad - - igual o mayor de 40 millones de kilocalorías por hora, no se permitirá una emisión mayor de mil gramos por cada millón de kilocalorías por hora.

ARTICULO 31. En toda operación, proceso o actividad industrial el propietario del establecimiento deberá adoptar y aplicar el sistema de control que se haya establecido para la emisión de polvos fugitivos.

ARTICULO 32. La licencia que expida la Secretaría de Salubridad y Asistencia para la instalación de una nueva industria, comprenderá las bases para el control de las fuentes de polvos fugitivos. Toda modificación de dichas fuentes será objeto del permiso correspondiente.

ARTICULO 33. En el caso de falla del equipo de control de las fuentes estacionarias emisoras de humos y polvos, será condición para que éstas sigan operando, que el propietario dé aviso a la Secretaría de Salubridad y Asistencia, dentro de las setenta y dos horas siguientes a la falla y presente, dentro de un plazo no mayor de treinta días, un programa de reparación. Presentando éste, la secretaría otorgará una autorización provisional de operación, en la cual comunicará su aprobación al programa o señalará las condiciones y plazos en que la reparación deba efectuarse, salvo el caso en que la falla del equipo ocasione emisión de contaminantes que puedan poner en peligro la salud pública.

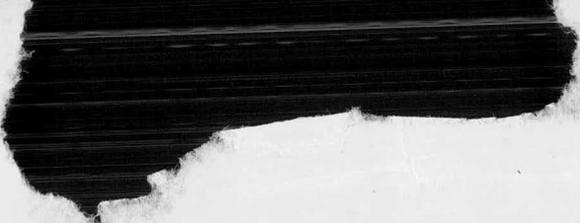
Continúan en este Reglamento otros artículos con Medidas de Orientación y Educación; Vigilancia e inspección; Sanciones; Procedimientos para Aplicar las Sanciones; Recursos - Administrativo de Inconformidad; Acción Popular; Definiciones y Transitorios. Todo esto, conforma el Reglamento, el cual es necesario conocer para poder acatarse a las normas de nuestro País, y así poder conservarlo limpio para las nuevas generaciones.

BIBLIOGRAFIA

- TURK, TURK, WITTES. Ecología-Contaminación-Medio Ambiente. Centro Regional de ayuda Técnica 1972.
- MEXICO. Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente: Ecología y Salud.
- STROBBE, MAURICE A. Origenes y Control de la Contaminación Ambiental Centro Regional de Ayuda -- Técnica 1973.
- OFFICE OF MANPOWER DEVELOPMENT. Introduction to Air Pollution Control U.S.A.
- ORTIZ, MONASTERIO P. FERNANDO. Introducción al estudio de la Contaminación en la nave espacial Tierra Editorial Kaleidoscopio México -- 1973.
- R.D. ROSS. La industria y la contaminación del aire Editorial Diana México 1974.
- MAGGILL, Holden, Ackley. Air Pollution Handbook. Mc. Graw -- Hill. U.S.A. 1956.
- ROSSANO, AUGUST T. Jr. Air Pollution Control. Guidebook for Management Mc. Graw Hill. U.S.A. 1969.

- MARCHELLO, J.M. Control of Air Pollution Sources.
Editado por Marcel Dekker, Inc. U.S.A.
1976.
- FAITH & ATKINSON Air Pollution Second Edition.
Wiley U.S.A. 1972.
- PERKINS, HENRY, C. Air Pollution Mc. Graw Hill. 1974.
- BRODINE, VIRGINIA. Air Pollution Editado por Barry Commo
ner U.S.A. 1973.
- FOWLER, JOHN M. Energy and the Environment Mc. Graw -
Hill U.S.A. 1975.
- TROOST, Cornelius J. y Environmental Education: A source ---
ALTMAN, Harold. book. Editorial Wiley. U.S.A. 1972.
- KAIMAN LEE, AIA. Air Pollution. Enviromental desing &-
research center Boston, Mass. U.S.A.-
1973.
- LEY FEDERAL PARA PREVENIR Y CONTROLAR LA CONTAMINACION AMBIEN
TAL. México 1974.
- CHEMICAL ENGINEERING. Vol. 79 No. 2: Vol. 79 No. 10: Vol. 81
No. 22: Vol. 82 No. 21
Mc. Graw Hill. U.S.A.





Impreso en los talleres de
EDITORIAL QUETZALCOATL, S.A.
Paseo de la Facultades No. 37.
Tels: 548-61-80 y 548-58-56
México 20, D.F.



FACULTAD DE QUIMICA

BIBLIOTECA

fecha de