

308917



**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**

**ESCUELA DE INGENIERIA**

**Con estudios incorporados a la U.N.A.M.**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PURIFICADOR  
DE AIRE DOMESTICO**

**T E S I S**

**Que para obtener el título de:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA MECANICA**

**P r e s e n t a :**

**SABINO ABRAHAM LOPEZ ALVAREZ**

**R E V I S O R :**

**ING. MARIANO HERRERA HERNANDEZ**

**México, D. F.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**1990**



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.

# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PURIFICADOR DE AIRE DOMESTICO

1. INTRODUCCION
  - 1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES
2. GENERALIDADES SOBRE LOS SISTEMAS DE PURIFICACION DE AIRE
  - 2.1 EL AIRE
    - 2.1.1 PROPIEDADES DEL AIRE EN CONDICIONES NORMALES
  - 2.2 AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACION
    - 2.2.1 PARTES ESENCIALES DEL CICLO DE AIRE ACONDICIONADO
    - 2.2.2 DESCRIPCION DEL CICLO DE AIRE ACONDICIONADO
    - 2.2.3 VENTILACION
  - 2.3 TIPOS DE DISPOSITIVOS PARA PURIFICAR EL AIRE
    - 2.3.1 PRECIPITADOR ELECTROSTATICO
      - 2.3.1.1 ETAPAS FUNDAMENTALES DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTATICO
    - 2.3.2 SEPARADORES INERCIALES
      - 2.3.2.1 TIPOS DE SEPARADORES INERCIALES
      - 2.3.2.2 FUNCIONAMIENTO DE UN SEPARADOR INERCIAL "CICLON"
    - 2.3.3 FILTROS
      - 2.3.3.1 FILTROS DE BOLSA
      - 2.3.3.2 FILTROS VECOFLOW
      - 2.3.3.3 FILTROS DE CARBON ACTIVADO
    - 2.3.4 SEPARADORES HUMEDOS
      - 2.3.4.1 TIPOS DE SEPARADORES HUMEDOS
3. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PURIFICADOR
  - 3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
  - 3.2 ESPECIFICACIONES
    - 3.2.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO
    - 3.2.2 CARACTERISTICAS DEL GAS A LIMPIAR
  - 3.3 MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA PURIFICADOR
    - 3.3.1 CAMPO ELECTRICO EN UN PRECIPITADOR ELECTROSTATICO
    - 3.3.2 GENERACION DE LA CORONA
    - 3.3.3 LA CARGA EN LAS PARTICULAS
    - 3.3.4 VELOCIDAD DE EMIGRACION DE LAS PARTICULAS CARGADAS
  - 3.4 PARTES,ACCESORIOS Y MATERIALES EN EL SISTEMA PURIFICADOR
    - 3.4.1 SISTEMA DE CONTROL
    - 3.4.2 SISTEMA DE PROPULSION
    - 3.4.3 SISTEMA DE COLECCION DE PARTICULAS
    - 3.4.4 SISTEMA DE ELIMINACION DE OZONO Y MALOS OLORES
  - 3.5 DISEÑO DEL SISTEMA PURIFICADOR
    - 3.5.1 PARAMETROS DE DISEÑO
    - 3.5.2 EFICIENCIA DEL SISTEMA PURIFICADOR
    - 3.5.3 CALCULOS DEL DISEÑO
      - 3.5.3.1 CALCULOS DEL SISTEMA DE PROPULSION
      - 3.5.3.2 CALCULOS DEL SISTEMA ELECTROSTATICO
      - 3.5.3.3 CALCULOS DEL FILTRO DE CARBON
    - 3.5.4 DIBUJOS DEL DISEÑO Y ENSAMBLE FINAL
  - 3.6 LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

3.7 EVALUACION ECONOMICA

4. CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

## 1. INTRODUCCION

El aire contaminado, está compuesto de partículas, gases y vapores químicos. En interiores, el aire contaminado tiene la proporción de: 60% de gases y vapores y 40% de partículas.

La mayor parte de los contaminantes comunes llevados por el aire son: humo de cigarro (70% gases y 30% partículas), polvo, tierra, polen, fibras, gérmenes, humos de auto, etc.

Algunas de las fuentes que lo producen son: fumadores, sistemas de calefacción y de enfriamiento, smog, copiatoras, limpiadores que contienen solventes, materiales de construcción, vehículos, pesticidas, aerosoles y cientos de otros aparatos, productos y sustancias comunes que usamos, o a las que estamos expuestos.

El promedio de aire respirado por un adulto es de 15000 cm<sup>3</sup> cada día, y cada cm<sup>3</sup> de aire contiene, en promedio 70000 partículas visibles e invisibles. Estas causan o agravan alergias, asma, irritaciones de ojos, piel, nariz o garganta, dolores de cabeza, y muchos otros problemas de salud.

Es evidente que los niveles y los efectos del aire contaminado que respiramos, están incrementándose en un grado alarmante.

Las Partículas químicas, tales como "spray" para el cabello, limpiadores de pisos, removedores de manchas, limpiadores solventes y detergentes, siempre con su característico aroma, pueden producir gases y humos tóxicos dañinos: mismos que causan

congestión nasal. dolores de cabeza y otros problemas.

Similarmente ocurre con humos y olores. tales como el humo del cigarro y los humos de la cocina que en combinación con otros productos pueden afectar la salud.

Existe una amplia variedad de productos para limpiar el aire. disponibles en el mercado. Partiendo desde los sistemas de tratamiento de aire (Ionizadores), siguiendo por los limpiadores de aire de medio alcance (Electrostáticos), y llegando a los purificadores de aire de alta eficiencia (Sistemas de filtros Hepa (absolutos) y carbón o alúminaactivada).

## 1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

1. El objetivo principal de este trabajo es diseñar un sistema de purificación de aire para uso doméstico, partiendo de los diferentes sistemas de tratamiento de aire existente.

Como objetivos específicos se tienen:

a). Todos los componentes que se utilicen en su fabricación deben ser de producción nacional.

b). El costo del sistema de purificación de aire debe ser accesible y con una calidad en el producto que lo haga competitivo con los sistemas existentes.

En el capítulo dos se hace una descripción detallada de los diferentes sistemas de purificación de aire que existen, así como de su funcionamiento incluyendo las propiedades del aire a manejar.

El capítulo tres es el más importante ya que se incluyen aspectos que van desde: las especificaciones del problema, la

justificación matemática del modelo. las partes y materiales que integran el sistema, el diseño del sistema incluyendo planos, los cálculos, las medidas que se utilizarán para su limpieza y mantenimiento y finalmente la evaluación económica que es la parte justificante del diseño y construcción del purificador.

En el capítulo cuatro se dan las conclusiones donde se incluyen los diferentes resultados obtenidos en la elaboración de este trabajo.



## 2. GENERALIDADES SOBRE LOS SISTEMAS DE PURIFICACION DE AIRE.

### 2.1 EL AIRE

Es una mezcla de diversos gases y, por consiguiente, también es un gas. Su composición aproximada es de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de una mezcla de hidrógeno, gas carbónico y argón.

#### 2.1.1 PROPIEDADES DEL AIRE EN CONDICIONES NORMALES

Pe = Peso específico	(1.2928 Kg/m <sup>3</sup> )
M = Peso molecular	(28.96 Mm)
R = Constante del aire	(286.9 J/Kg. °K)
Cp = Calor específico a presión constante	(1.004 J/Kg. °K)
Cv = Calor específico a volumen constante	(717.4 J/Kg. °K)

### 2.2 AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACION

El acondicionamiento de aire es un proceso que tiende al control simultáneo -dentro de un ambiente delimitado- de la pureza, humedad, temperatura y movimiento del aire. Al contrario de lo que ocurre con la ventilación, no depende de las condiciones climáticas exteriores. Su utilización es indispensable en:

a). Procesos de fabricación que exigen humedad, temperatura y pureza del aire determinadas y controladas, como sucede, por ejemplo, en la fabricación de productos farmacéuticos y

alimenticios, salas de dibujo de precisión. etc.

b). Ambientes de trabajo, con vistas a la comodidad de operarios.

c). Ambientes en los que se exige seguridad, es decir, en los que se manejan productos tóxicos o inflamables.

d). Etapas de producción que exigen el control de reacciones químicas (cristalización, corrosión de metales, acción de microorganismos, etc.).

e). Locales en los que haya que eliminar la electricidad estática para prevenir incendios o explosiones.

f). Operaciones de mecanización con tolerancias mínimas.

g). Laboratorios de control y prueba de materiales.

h). Locales habitacionales.

### 2.2.1 PARTES ESENCIALES DEL CICLO DEL AIRE ACONDICIONADO

El aire interior puede ser muy frío, muy caliente, muy húmedo o muy seco, produciéndose o no corrientes de aire.

Estas condiciones pueden alterarse "tratando" el aire. El aire frío se puede calentar; el caliente, enfriar; puede añadirse humedad al aire seco y extraérsele al húmedo; por último, para producir un movimiento adecuado puede usarse un ventilador.

Cada uno de los tratamientos mencionados se realizan en el ciclo de acondicionamiento de aire.

Las partes esenciales del ciclo de aire acondicionado son las siguientes:

- a) Ventiladores
- b) Conductos de alimentación
- c) Salidas de alimentación (rejillas)
- d) Espacio de aire acondicionado
- e) Conductos y aberturas de retorno
- f) Filtros
- g) Cámara de calentamiento y enfriamiento.

a) Ventiladores

En todos los sistemas de aire acondicionado se utiliza siempre un ventilador para producir el movimiento o desplazamiento del aire.

Como el tiro en el interior del espacio acondicionado causa incomodidad, un movimiento escaso de aire no permite el proceso de extracción del calor, hay que regular la cantidad del aire proporcionada por el ventilador.

b) Conductos de alimentación

Envían el aire procedente del ventilador al ambiente acondicionado. Estos conductos deberán ser lo más cortos posible y poseer pocas curvas para que el aire pueda circular libremente.

c) Sáldidas de alimentación (rejillas)

Una vez que el aire ha sido conducido por el sistema de conductos, estos elementos se encargan de realizar su distribución en el ambiente acondicionado, asegurando un reparto uniforme del aire a una altura apropiada por encima del piso.

La distribución, cantidad y tipo de rejillas pueden contribuir, de acuerdo con las intenciones del proyecto, a la comodidad o incomodidad de la zona acondicionada.

d) Espacio de aire acondicionado

El espacio que se trata de acondicionar es una de las partes más importantes, debido a que de él depende el proyecto de aire acondicionado, en él se encuentran las cargas térmicas y a él debe conducirse el aire o retirarse de él.

e) Conductos y aberturas de retorno

Son aberturas colocadas en la superficie del ambiente, que permiten que el aire vaya al conducto de retorno. Por lo general suelen estar dispuestas en la pared contraria a aquella en la que van los conductos de alimentación.

La función principal del conducto de retorno es la de permitir el paso del aire desde el ambiente hasta el equipo

acondicionador.

f) Filtro

El aire aportado a un recinto tiene que estar limpio. El equipo usado con este fin consta de filtros de aire. Normalmente van colocados en algún lugar del conducto de aire de retorno. Se fabrican de acuerdo a diversas condiciones y pueden ser por tanto del tipo seco (espuma de vidrio o de compuestos plásticos) o electrostáticos, que funcionan atrayendo las partículas de polvo o suciedad mediante la electricidad.

g) Cámara o serpentines de enfriamiento y calentamiento

Pueden ir colocadas antes o después del filtro.

Durante el funcionamiento invernal, el ciclo de aire acondicionado añade calor al aire, lo que se consigue haciendo pasar el aire de retorno del ambiente a través de serpentines de calentamiento o por la superficie de una cámara de combustión.

Durante el verano, el ciclo de aire acondicionado enfría el aire. El de retorno, procedente del recinto acondicionado, pasa por un serpentín de enfriamiento, donde se baja su temperatura hasta el grado necesario.

### 2.2.2 DESCRIPCION DEL CICLO DEL AIRE ACONDICIONADO

La descripción empieza con el ventilador, dado que es ésta la parte del equipo que acciona o impulsa el aire a través del ciclo. El ventilador empuja el aire por un conducto, el cual está unido a las aberturas de entrada, situadas en el ambiente que se trata de acondicionar. El conducto aporta aire puro al ambiente por medio de orificios de descarga o terminales.

Al llegar este aire al ambiente lo enfría o calienta, según las necesidades del proyecto. Las partículas de polvo procedentes del ambiente pasan a integrarse en el flujo de aire, siendo arrastradas por él. El flujo de aire que viene del ambiente entra en otro conducto, denominado de retorno, donde las partículas de polvo o de cualquier otra especie se dejan depositadas en un filtro. Tras haber limpiado el aire, suele calentarse o enfriarse, según las necesidades del ambiente que se trate de acondicionar. Si hace falta aire frío, se le hace pasar por la superficie de un serpentín de enfriamiento; si hay que calentarlo, se pasa por una cámara de combustión, resistencia eléctrica o serpentín de calentamiento. Por último, el aire es absorbido por el ventilador, que lo impulsa, completando así el ciclo.

### 2.2.3 VENTILACION

Los sistemas de ventilación se diseñan para adaptarse a una amplia variedad de criterios. Los objetivos del control de

ventilación incluyen el suministro de suficiente O<sub>2</sub> para la respiración normal, dilución de los contaminantes dentro de los espacios ocupados, eliminación de los contaminantes emitidos desde los puntos de origen o de las áreas de trabajo, presurización de los espacios para controlar la infiltración o exfiltración, disipación de la cargas térmicas en los espacios ocupados y control de olores. No se debe utilizar la dilución por ventilación para controlar los riesgos para la salud que puede tener un contaminante, cuando la cantidad generada sea muy grande, se puedan acumular las concentraciones locales, la toxicidad sea elevada, o la emisión no sea uniforme.

Los principios básicos que se aplicarán a la dilución por ventilación son los siguientes:

1. Se suministra a la habitación la cantidad de aire requerida para la satisfactoria dilución de todos los contaminantes de interés.
2. Se localizan las salidas de extracción cerca de las fuentes de contaminantes.
3. Todo el aire de dilución deberá pasar a través de la zona donde esté presente el contaminante.
4. El movimiento general del aire en un espacio, deberá remover los contaminantes de las fuentes de origen para ponerlos fuera del contacto con las personas que estén en la habitación.

## 2.3 TIPOS DE DISPOSITIVOS PARA PURIFICAR EL AIRE

Una gran variedad de técnicas son utilizadas para controlar partículas de materia dependiendo del tamaño y naturaleza de las partículas. Las partículas se miden en micrones. Hay 10000 micrones en un centímetro.

En la selección del equipo óptimo para un trabajo específico es necesario considerar varios factores que se agrupan de la siguiente manera:

1. Características de la partícula: tales como granulometría, forma, densidad, y propiedades físico-químicas como tendencia a la aglomeración, corrosividad, conductividad eléctrica, etc.
2. Características de la corriente gaseosa: tales como temperatura, presión, humedad, densidad, viscosidad, conductividad eléctrica, inflamabilidad, conductividad eléctrica, etc.
3. Factores de proceso: entre estas se consideran el gasto volumétrico, concentración de partículas, variación del flujo de material, eficiencia de colección requerida, caída de presión permisible y calidad requerida del producto.
4. Factores de operación: incluyendo limitaciones estructurales tales como espacio disponible y limitaciones de los materiales del



equipo como presión, temperatura y resistencia a la corrosión.

Entre los principales métodos de colección de partículas están:

Separación Gravitacional: Gravitación normal

Separación Centrifuga: Dan vuelta a los gases en un ciclón para incrementar la fuerza de gravedad en la partícula y provocar separación.

Impacto Inercial: El gas es forzado a cambiar de dirección rápidamente. Las partículas no puede cambiar de dirección tan rápido y son impactadas en el colector.

Intercepción Directa: Filtración del aire através de un filtro de tela. Las partículas son capturadas en las fibras.

Lavadores: El gas es contactado con un fluido (usualmente agua). Las partículas son mojadas, aglomeradas y colectadas.

Precipitadores Electrostáticos: Las partículas son cargadas y colectadas en una placa o cable de carga opuesta.

Estos métodos son usados dependiendo del tamaño de la partícula a coleccionar. (Ver tabla No. 1)

TABLA No. 1

Tipo de Colector	Rango en micrones
Cámara de sedimentación	100 - 1000
Ciclones (centrifugos)	5 - 1000
Lavadores de Boquilla	5 - 1000
Lavadores de Rocío	1 - 100
Limpiador Fluidizado	1 - 100
Lavador Venturi	0.01 - 100
Filtros	0.1 - 60

### 2.3.1 PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

En 1906 el primer precipitador electrostático fué usado por Cottrell en Estados Unidos.

Son los más ampliamente usados para la colección de partículas. Tienen muchas ventajas: su rango de tamaño es enorme y son muy versátiles para la colección de partículas de muchas substancias incluyendo sólidos y líquidos. Pueden operar a altas presiones y temperaturas y sus requerimientos son bajos.

Sus principales problemas son: No pueden coleccionar gases explosivos o contaminantes.

#### 2.3.1.1 ETAPAS FUNDAMENTALES DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

En el precipitador electrostático, la fuerza base que actúa para separar las partículas de un gas es la atracción electrostática. (Ver figura No. 1)

##### 1. Cargado de Partículas

Un precipitador electrostático consiste de uno o más electrodos de descarga de diámetro relativamente pequeño (semejante a un alambre) y superficies de colección (placas o

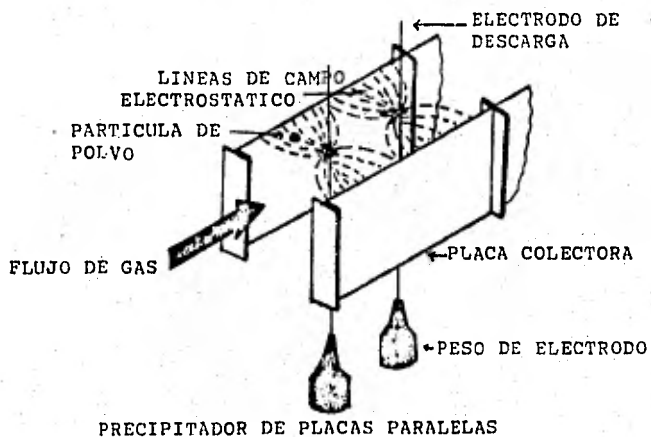
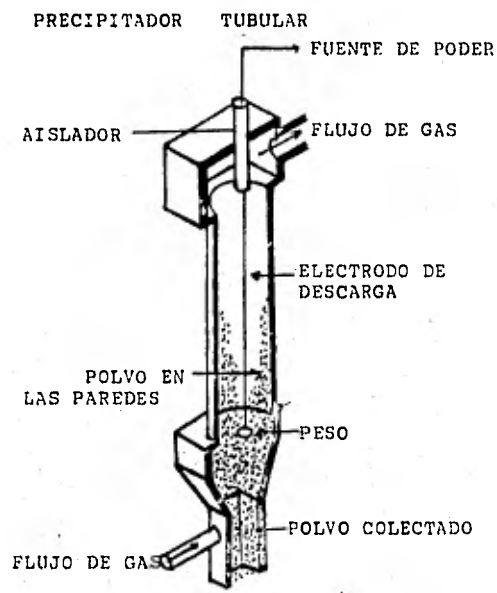


Figura No. 1

tubos) entre las cuales pasan gases que acarrean partículas sólidas o líquidas. Un campo eléctrico de alto potencial unidireccional es puesto entre los electrodos a través de un rectificador de alto voltaje. Los electrodos de descarga son de polaridad negativa, mientras que las superficies de colección, que son el potencial de tierra, son de polaridad positiva. Encima del voltaje crítico una corona de descarga toma lugar cerca del electrodo de descarga. Esta corona es un signo visible de la ionización del gas que resulta de la formación de iones de gas positivos y negativos en la región cerca del electrodo de descarga. Estos iones son atraídos a la superficie de polaridad opuesta. En el movimiento hacia esas superficies, los iones atacan a las partículas que se encuentran en el gas, cargando a las partículas una a una positiva o negativamente.

## 2. Emigración de las partículas cargadas

Los iones negativos se mueven a la superficie positiva. Debido a que la ionización toma lugar cerca del electrodo de descarga, estos iones tienen una gran distancia para viajar y más partículas son cargadas negativamente que positivamente, dando como resultado una gran colección de partículas en la superficie de potencial de tierra.

## 3. Descarga de partículas cargadas

Al tocar la superficie de colección, las partículas dejan su

carga y sirven como un conductor para adicionales depósitos de partículas cargadas. A través de cohesión, adhesión y fuerzas electrostáticas una capa de partículas colectadas es suspendida en la superficie de colección.

#### 4. Remover las partículas precipitadas

Cuando se ha acumulado una capa considerable de partículas, está debe ser removida periódicamente para mantener un óptimo funcionamiento. Comúnmente se usan sacudidores para remover polvo seco.

En la mayoría de los precipitadores un sistema de sacudidores es usado para aumentar el efecto natural de la gravedad en la descarga de partículas a las tolvas. El sacudidor es usualmente acompañado de una serie de martillos operados eléctricamente.

### 2.3.2 SEPARADORES INERCIALES

Están entre los más viejos y más usados separadores en existencia. Su construcción es simple y su servicio de mantenimiento fácil. Se usan solos, aunque, raramente satisfacen modernos requerimientos de eficiente separación. Consecuentemente

son frecuentemente usados en sistemas combinados de separadores o separadores multietapas. En ambos casos son usados como precolectores para grandes partículas de polvo.

Los separadores son frecuentemente clasificados de acuerdo a la clase de fuerza aeromecánica empleada. Partículas sólidas y líquidas son removidas del flujo de gas en base a la diferencia de densidades entre la mezcla del gas y de las partículas. Las partículas de la mezcla son generalmente consideradas para ser removidas tan pronto como tocan las paredes del separador.

### **2.3.2.1 TIPOS DE SEPARADORES INERCIALES**

#### **1. Tanques de sedimentación**

Son los más simples tipos de separadores, en los cuales la fuerza de gravedad es usada para remover partículas sólidas de un flujo de gas. Su eficiencia es baja y ocupan un gran espacio, son raramente usados hoy en día, excepto como precolectores.

#### **2. Colectores de polvo**

Usan la fuerza de inercia junto con la fuerza de gravedad para remover polvo. Con frecuencia cambian la dirección del

flujo, con una entrada tangencial, dentro de una gran cámara, y es lo más común.

### 3. Separadores Louvre

También utilizan la fuerza de inercia. Requieren poco espacio y son de bajo costo. Son todavía usados en numerosas fabricas como precolectores.

Su eficiencia de operación varia entre un 60% y un 80%.

### 4. Separadores Ciclón

Son los más frecuentemente usados debido a su gran variedad de formas. Junto con los filtros de bolsa son los más vieios separadores usados industrialmente.

Hoy en día, los separadores ciclón son menos usados como separadores individuales debido a los altos requerimientos en la separación y por la gran cantidad de gas implicado.

Son usados individualmente bajo condiciones de producción donde otro tipo de separadores no pueden ser usados.

Por ejemplo, los precipitadores electrostáticos no pueden trabajar con polvos inflamables y explosivos, en espacios limitados.

Los separadores húmedos no pueden ser usados para polvo donde se forman terrones sólidos, gases corrosivos o donde es insuficiente el agua.

Los filtros de bolsa son impropios a altas temperaturas, para

polvos adhesivos, o altas concentraciones de polvo o donde el espacio es limitado.

Los separadores ciclón deben ser resistentes a la abrasión, altas temperaturas y acumulación de polvo adhesivo.

Son seguros para trabajar con polvos explosivos o inflamables y requieren poco espacio.

Los tipos básicos de ciclones incluye: Ciclones Tangenciales y Ciclones Axiales con flujo directo e indirecto.

Los separadores ciclón deben ser dispuestos de acuerdo a las siguientes consideraciones básicas:

a). Disposición de la colocación considerando óptima distribución de polvo y gas entre ciclones individuales.

b). El efecto de la colocación en la confiabilidad operacional (inclinación de los ciclones, diámetro de salida, flujo de salida, limpieza, accesibilidad).

c). Disposición con respecto al uso de área disponible.

##### 5. Separadores Rotacionales

Algunos tipos de colectores se aprovechan de la fuerza centrífuga proporcionada por el movimiento de un rotor, de manera que una misma unidad sirve como extractor y colector a la vez. En estos colectores, los álabes al girar ejercen una fuerza



centrífuga sobre las partículas, proyectándolas contra la caja para de ahí descargarlas a una tolva.

La eficiencia de colección en estos tipos resulta mayor a las obtenidas en ciclones simples. Sin embargo estas unidades no pueden usarse para coleccionar partículas que tienden a acumularse en el rotor ya que causarían desbalanceo, ocasionando mantenimiento excesivo y paros frecuentes.

#### 2.3.2.2 FUNCIONAMIENTO DE UN SEPARADOR INERCIAL CICLON

Un ciclón consta de un cilindro con una entrada tangencial del gas, una salida del gas axial y una sección cónica en la parte inferior. (Ver figura No. 2)

La entrada tangencial del gas a alta velocidad imparte un movimiento circular a la corriente gaseosa, las partículas, debido a su mayor inercia tienden a concentrarse sobre las paredes del ciclón. El gas sigue una trayectoria de doble vértice con espirales hacia abajo del gas que entra y espirales hacia arriba del gas que sale.

Las espirales descendentes llevan las partículas al fondo del ciclón donde se depositan, para de ahí ser descargadas por medio de una válvula rotatoria o de contrapeso.

La fuerza centrífuga proporcionada a las partículas varía en relación directa al cuadrado de la velocidad en la entrada, e

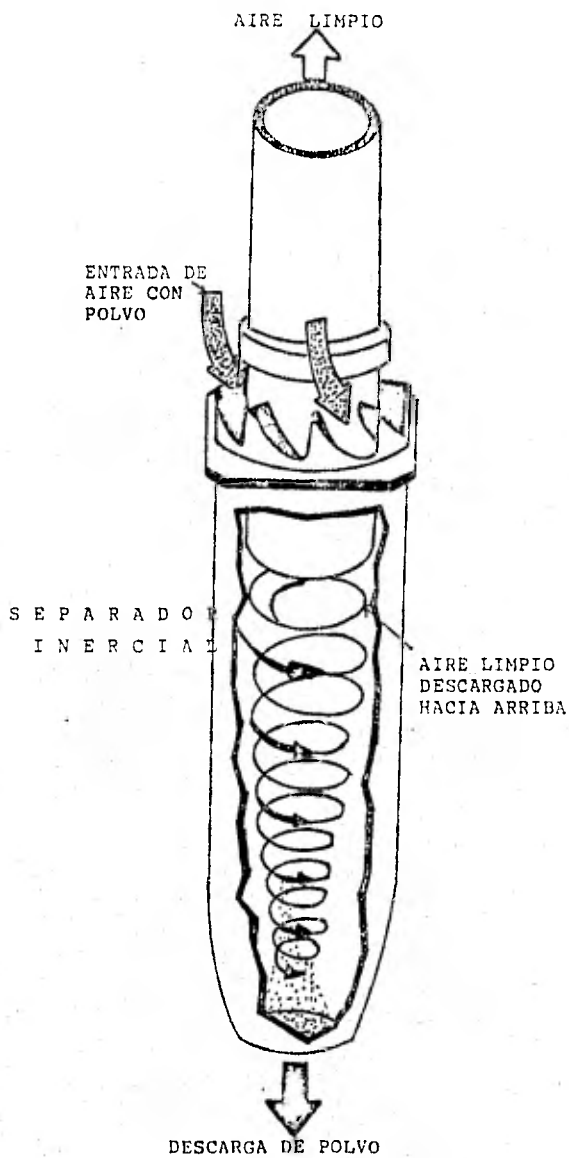


Figura No. 2

inversamente al radio del ciclón. Estos factores han sido agrupados en un factor adimensional llamado "factor de separación".

$$S = \frac{V^2}{rg}$$

Donde:

S= Factor de separación

V= Velocidad a la entrada

r= Radio cilíndrico del ciclón

g= Aceleración de la gravedad

No ha sido posible establecer una correlación definida entre el factor de separación y eficiencia de colección, sin embargo para ciclones de diseño y uso similar la eficiencia de colección varía directamente en función del factor de separación.

#### EFICIENCIA DE SEPARACION

La eficiencia de un ciclón se incrementa cuando hay un aumento en los siguientes factores:

1. Densidad de las partículas
2. Velocidad de entrada al ciclón
3. Longitud del cuerpo del ciclón
4. Número de revoluciones desarrolladas por la corriente gaseosa en el interior del ciclón
5. Relación diámetro del cuerpo a diámetro de la descarga

6. Diámetro de las partículas
7. Cantidad de polvo en la corriente gaseosa
8. Pulimiento en el interior del ciclón

Un incremento en los siguientes factores disminuye la eficiencia de un ciclón.

1. Viscosidad de la corriente gaseosa
2. Diámetro del ciclón
3. Diámetro de la salida del gas
4. Area de entrada de la corriente gaseosa
5. Area interna
6. Densidad de la corriente gaseosa.

### 2.3.3 FILTROS

Este procedimiento de separación de polvo recurre al empleo de diferentes materiales textiles como filtro. También existen filtros de grava, arena y granulos.

El grado de porosidad del tejido puede adaptarse al diámetro de las partículas que interesa separar. El material de filtrado se elige de acuerdo con la temperatura de los gases de

entrada: (Ver tabla No.2).

TABLA No 2

FIBRA	TEMPERATURA MAXIMA °C	RESISTENCIA QUIMICA	
		ACIDO	ALCALI
Algodón	83	Poca	Mediana
Dynel	80	Buena	Buena
Lana	105	Buena	Poca
Nylon	105	Buena	Poca
Orlon	135	Buena	Mediana
Dacrón	135	Excelente	Buena
Vidrio	268	Excelente	Excelente

ALGODON

Ha sido por muchos años la fibra estándar, ya que no es cara y proporciona buena eficiencia, además es durable mientras que la temperatura no sea excesiva. Para aplicaciones como en molienda de piedra resulta ser lo más adecuado.

LANA

Antes del desarrollo de las fibras sintéticas, la lana era utilizada para temperaturas de 94 °C o en condiciones ácidas, todavía es usada en muchas operaciones metalúrgicas tales como fundiciones de plomo.

#### NYLON

Es una fibra orgánica sintética. de costo inicial relativamente alto, pero tiene muchas propiedades físicas deseables tales como resistencia a la abrasión, tenacidad y elasticidad, así como resistencia a muchas sustancias químicas.

#### DYNEL

Es una fibra acrílica, la cual tiene baja absorción de humedad, es resistente a los esfuerzos físicos, así como a muchas sustancias químicas y organismos destructivos como bacterias.

#### ORLON Y DACRON

El Orilon es una fibra 100% acrílica, es ligero, fuerte y con excelente resistencia química. El Dacron tiene propiedades semejantes pero es más barato.

#### VIDRIO

De todos los materiales usados en filtración de aire, el vidrio tiene la mayor resistencia a la temperatura y sustancias químicas.

Debido a su fragilidad se requieren muchas precauciones en su instalación.

Prácticamente todos los principios básicos de fuerzas son utilizados en filtración a través de una capa de material fibroso. Esto incluye la combinación de fuerzas de inercia (fuerzas de impacto), colocación directa (intercepción), difusión y algunas veces fuerzas electrostáticas.

Los tres parámetros más importantes en el diseño de un filtro son:

Caída de Presión

Eficiencia

Vida Util

#### 2.3.3.1 FILTROS DE BOLSA

Son uno de los más viejos tipos de separadores industriales existentes junto con los ciclones.

El primer filtro de bolsa fue patentado en 1886. Permiten manejar altos volúmenes de aire con una excelente capacidad de retención y acumulación de polvo.

El principal problema encontrado en el uso de filtros de bolsa es la selección de un textil plegado adecuado para ahorrar espacio.

Los principales parámetros funcionales de los filtros de

bolsa (eficiente separación y caída de presión, incluyendo algunos cambios debido a la obstrucción del material) son encontrados a través de experimentación en la línea de producción del material filtrante.

La eficiente separación de filtros de bolsa es alta (usualmente mayor de 99.5%) aún para polvo fino, pero depende en gran parte del tipo de material y de las condiciones de trabajo.

Los filtros de bolsa son usualmente construidos con una cámara, en la cual el material filtrante es colocado en diferentes formas. La operación básica es simple, el material filtrante es obstruido y después limpiado. El limpiado puede ser durante pequeñas interrupciones en el uso del filtro.

Dependiendo de la manera en la cual el material es colocado, los filtros de bolsa pueden ser clasificados como: de manga y de bolsillo.

Los textiles para los filtros son manufacturados por varias técnicas y varios tipos de material.

En el presente varios tipos de materiales son usados para este propósito, convencionalmente fibras de lana o algodón son complementadas por materiales sintéticos resistentes al calor (poliester, fibra de vidrio, silicón, etc.).

#### **2.3.3.2 FILTROS VECOFLOW**

Ofrecen elevada retención de polvo debido a su gran



superficie, robustez y capacidad. Su eficiencia varía entre 30% y 85%.

#### **2.3.3.3 FILTROS DE CARBON ACTIVADO**

Se utilizan para remover gases, vapores, olores y humo.

Permiten la recirculación de aire en ambientes cargados de olores. Su capacidad de retención varía entre 25% y 95%.

#### **2.3.4 SEPARADORES HUMEDOS**

Los separadores húmedos son proporcionados en una gran variedad de diseños, los cuales recuperan polvo en forma de solución o suspensión, lográndose simultáneamente el enfriamiento y lavado del gas.

Los separadores tipo húmedo son apropiados para manejar gases de elevada temperatura y alto contenido de humedad.

Las gotas del líquido, generalmente agua, van a crear la superficie donde se impactarán las partículas. Luego la gota caerá por su propio peso a su velocidad terminal. Normalmente el gas se arroja a la parte inferior y el líquido a la parte superior (esto es a contracorriente).

Los separadores húmedos fueron desarrollados de los

separadores inerciales como un intento de mejorar la eficiente separación para polvo fino y mejorar la funcionalidad para remover humedad y polvo adhesivo. Inicialmente el agua fué simplemente rociada en los mecanismos inerciales y colectores de polvo.

En adición a efectos de condensación y difusión . el factor más importante en el funcionamiento de dispositivos húmedos es la adhesión de partículas de polvo en gotas de agua..

Al contrario de sus muchas ventajas, los separadores húmedos no han encontrado amplia aplicación, debido al alto peligro en materiales corrosivos. Es necesario primero identificar las propiedades del polvo a ser removido.

En los separadores húmedos ocurren básicamente dos operaciones que son:

1. Contacto: En esta operación el líquido entra en contacto con el contaminante del gas, obteniéndose partículas líquidas contaminadas.
2. Separación: Consiste en separar el máximo de las partículas de líquido contaminado de gas limpio.

### 2.3.4.1 TIPOS DE SEPARADORES HUMEDOS

#### 1. Torre de Aspersión

Son adecuadas para eliminar cargas elevadas de partículas gruesas.

Consisten de una cámara redonda o rectangular dentro de la cual el agua se introduce por medio de boquillas de aspersión. Existen muchas variedades en el diseño pero el principal mecanismo es impactación de las partículas de polvo sobre las gotas del líquido. Estas gotas son separadas por la corriente gaseosa por fuerza centrífuga o choque sobre los eliminadores de agua.

En general este tipo de colectores utilizan agua a baja presión y operan en el rango de baja eficiencia de los colectores húmedos.

#### 2. Torres Empacadas

Estas son esencialmente camas de contacto a través de las cuales pasan gases y líquidos a contracorriente, corriente paralela o flujo cruzado. Se utilizan principalmente para lavar contaminantes gaseosos y vapores o para eliminar neblinas.

También colectan polvos, pero normalmente los diseños

convencionales no se usan para esto debido a que las partículas tienden a tapar el empaque, requiriendo alto mantenimiento.

### 3. Colector Centrifugo Húmedo

Este tipo de colector utiliza la fuerza centrífuga para acelerar las partículas de polvo y hacerlas chocar sobre una superficie húmeda. Se tienen varios diseños basados en diferentes formas de obtener la acción centrífuga o de ciclón y la aplicación del líquido.

### 4. Colector Húmedo Dinámico

Estos colectores operan rociando el agua dentro del cuerpo de un ventilador obteniendo la precipitación de partículas sobre las superficies húmedas del impulsor, el cual es de diseño especial. No se tiene caída de presión interna aunque la eficiencia mecánica es inferior a la de los extractores convencionales.

### 5. Colector de Alta Energía Tipo Venturi

De entre los colectores húmedos, de los más importantes hoy en día son los que operan por el principio del Venturi.

Este colector opera haciendo pasar el gas contaminado por una garganta o venturi, a velocidades de 3360 a 7320 m/min., inyectándose antes, después o en la garganta el líquido lavador en cantidades de 19 a 56.7 Lt/min.. Por el choque del gas con las gotas del líquido así como por contracción y expansión brusca que hace perder energía al contaminante sólido se logra capturarlo por las partículas del líquido lavador separándolo del gas, así mismo se logra un íntimo contacto del contaminante gaseoso. En seguida de la garganta se tiene una sección separadora de gotas de líquido arrastrado por la corriente gaseosa.

Existen en la actualidad algunos colectores tipo Venturi contruidos con garganta variable lo cual permite obtener un rango de caída de presión para un volumen dado o cuando se tiene volumen variable se puede ajustar la garganta para dar caída de presión constante.

### 3. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PURIFICADOR

#### 3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel nacional la contaminación atmosférica se limita a las zonas de alta densidad demográfica o industrial.

El diagnóstico de la calidad del aire del Área Metropolitana de la Ciudad de México es el siguiente incluyendo las fuentes de contaminación.

1. Fuentes fijas (fabricas) con un 15% e incluyen:

SO <sub>2</sub>	_____	58%
Partículas	_____	17%
NO <sub>x</sub>	_____	13%
CO	_____	7 %
HC	_____	5 %

2. Fuentes Móviles (autos) con un 80% e incluyen:

CO	_____	89%
HC	_____	9.4%
NO <sub>x</sub>	_____	1.3%
SO <sub>2</sub>	_____	0.2%

3. Fuentes Naturales (Viento) con un 5%.

Las principales partículas contaminantes en interiores de acuerdo a sus dimensiones en micrones son:

TABLA No 3

MICRONES	PARTICULAS
0.01 - 0.05	Incineradores de carbón y leña, virus

0.06 - 0.4	Smoq. humo de cocina. humo de cigarrillos. hollín de automóviles.
0.5 - 5	Insecticidas. polvo casero, bacterias, polvo y material orgánico de desecho, humos de combustión.
5.0 - 30.	Pelusa, polén. esporas. organismos, polvaderas minerales.

La concentración de partículas contaminantes es de  $275 \mu\text{gr}/\text{m}^3$  (promedio diario) en la ciudad de México.

Para el diseño en la colección de partículas se utilizará un precipitador electrostático con algunas variantes debido a las siguientes ventajas:

1. Se pueden tener eficiencias altas, en algunos casos pueden exceder el 99%.
2. No hay límite inferior para el tamaño de partículas que se pueden colectar.
3. El material se colecta seco, lo que permite recuperar material valioso.
4. Las caídas de presión y temperatura son pequeñas.
5. Se diseñan para operar continuamente por largos periodos y con poco mantenimiento.
6. Pueden utilizarse a temperaturas altas.
7. Se pueden colectar ácidos, alquitrán y materiales sumamente corrosivos.
8. La eficiencia de colección puede ajustarse a la demanda incrementando el tamaño de la unidad.

9. Se pueden manejar grandes volúmenes de gas.

10. Los requerimientos de energía para el manejo del flujo son bajos.

### 3.2 ESPECIFICACIONES

Las especificaciones describen las condiciones y requerimientos bajo los cuales el precipitador electrostático operará, son probablemente los más significativos documentos para la compra de un mecanismo colector de partículas.

Unas buenas especificaciones aseguran que tanto el comprador como el vendedor entenderan los requisitos para el precipitador. Las especificaciones definen la responsabilidad de cada parte, las condiciones de diseño y operación, el grado de requerimientos de control, las condiciones particulares y los requerimientos legales del contrato final.

Las especificaciones generalmente están presentadas en dos partes. La primera parte usualmente describe los requerimientos específicos de la instalación particular bajo consideraciones, y la segunda parte cubre los requerimientos generales para toda la instalación para el comprador.

#### 3.2.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO

Aunque existen algunas diferencias entre los precipitadores electrostáticos, según la aplicación que se le vaya a dar, se



puede decir que están constituidos básicamente de lo mismo.

Para el diseño del precipitador que aquí se propone se emplearán cuatro sistemas:

1. Sistema de control
2. Sistema de Propulsión
3. Sistema de Colección de partículas
4. Sistema de eliminación de Ozono y malos Olores

1. Sistema de Control

La corriente eléctrica necesaria para llevar a cabo la precipitación eléctrica, debe ser una corriente directa rectificadora de alta tensión, la cual se obtiene básicamente con un rectificador, un transformador elevador, y un equipo para regular el voltaje.

2. Sistema de Propulsión

Básicamente es utilizado para mover el aire de un punto a otro. En el control de la contaminación del aire, el ventilador, soplador o extractor imparte movimiento a una masa de aire y transporta al contaminante desde la fuente de generación a un dispositivo de control en donde es separado y colectado permitiendo que el aire limpio sea enviado a la atmósfera.

En el cuerpo principal están montadas del lado de la entrada del gas, unas rejillas distribuidoras, que permiten que el flujo sea constante y estacionario, es decir laminar, así que las rejillas deben garantizar que el flujo se encuentre lo más cercano posible a la llamada región de Stokes, es decir  $Re < 2$ .

### 3. Sistema de Colección de partículas

Es la parte más importante en el diseño.

La parte activa de los precipitadores consta de una serie de electrodos colectores o de precipitación y de electrodos de descarga o de efecto corona, alimentados por una corriente de alta tensión. Entre los electrodos de colección se colocan los electrodos de descarga o de efecto corona.

Al pasar las partículas suspendidas por esta parte se cargan eléctricamente y son proyectadas sobre una serie de placas donde son colectadas eléctricamente para posteriormente ser removidas.

### 4. Sistema de eliminación de Ozono y Malos Olores

Este sistema basa su funcionamiento en un filtro de carbón activado soportado por una rejilla, y su función será eliminar el ozono que se puede generar en la formación de la corona así como

los malos olores del medio ambiente.

### 3.2.2 CARACTERISTICAS DEL GAS A LIMPIAR

Las características de los gases sucios a limpiar, tienen una gran influencia sobre la eficiencia de colección del aparato. Tales características o propiedades inherentes al gas y al polvo son: composición química, temperatura, presión, humedad, propiedades dieléctricas y distribución del tamaño de las partículas.

Por otra parte la diferencia de potencial aplicada, la intensidad del campo, la corriente eléctrica, la velocidad del gas, la contaminación de los electrodos y la uniformidad en la distribución del campo eléctrico son algunos de los parámetros eléctricos del equipo, que también tienen gran influencia en la eficiencia del aparato, por estar relacionados con las características del gas y del polvo presente.

Para alcanzar el grado máximo de captación de polvo, es necesario que se mantenga la máxima diferencia de potencial posible en los electrodos de descarga, ya que el cargado de las partículas de polvo y su posterior emigración están en función de esto.

La diferencia de potencial también depende de la composición química del gas.

El tamaño de las partículas de polvo influye en la cantidad

de carga recibida y en la velocidad de emigración, ya que las partículas grandes también tienen velocidades de emigración mayores, por esto la eficiencia de captura de partículas grandes es mayor. Por otra parte, el polvo también llega a adherirse al electrodo de descarga bloqueando la corona.

La alta concentración de partículas en los gases a tratar, puede provocar un recubrimiento o aislamiento de la corona, puesto que las partículas cargadas permanecen más tiempo en el campo eléctrico que los iones de gas aumentando de esta manera la carga volumétrica y disminuyendo la intensidad de la corriente. Como resultado de esto la captación de polvo disminuye, así que la intensidad del bloqueo o aislamiento de la corona depende de la concentración y de la variedad de tamaños del material particulado. El bloqueo de la corona se evita disminuyendo la concentración inicial de polvo o disminuyendo la velocidad de los gases dentro del precipitador.

### 3.3 MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA PURIFICADOR

Aunque la tecnología de los precipitadores electrostáticos ha sido investigada ampliamente, la mayoría de las relaciones usadas en la aplicación de precipitadores para limpiar gases a sido empírica. La razón para el uso de métodos empíricos ha sido falta de sistemas convenientes de acercamiento por donde la influencia de factores interrelacionados en el desempeño de precipitadores

pueda ser descrito matemáticamente. También, algunas de las suposiciones requeridas para reducir a un modelo matemático están restringidas por el análisis teórico.

Algunas investigaciones han aclarado la relación de campo eléctrico, cargado de partículas y relaciones de factores que influyen en la mejor colección de polvo, esto ha hecho posible el desarrollo de un modelo matemático con suficiente aceptación para ser usado en el diseño, aplicación y análisis de precipitadores electrostáticos.

### 3.3.1 CAMPO ELECTRICO EN UN PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

La intensidad de campo (E), se debe obtener a partir de cantidades que se puedan medir fácilmente.

La intensidad de campo, entre dos electrodos, está definida como el cambio o la derivada del voltaje (V), respecto a la distancia de separación (r), es decir, es el gradiente del voltaje:

$$E = - \frac{dV}{dr} \quad (2)$$

El signo menos indica que E, apunta en la dirección en la que V disminuye.

La intensidad de campo eléctrico (E), en puntos colocados sobre una superficie cargada es proporcional a la densidad de carga  $\sigma$ , y la ecuación diferencial fundamental que describe lo anterior, proviene de la ley de Gauss que en su forma diferencial es:

$$\nabla \cdot E = 4\pi\sigma \quad (3)$$

Donde  $\nabla \cdot E$ , es la divergencia de E y  $\sigma$  es la carga eléctrica por unidad de volumen del espacio entre los electrodos.

Supóngase un precipitador formado de tubos como electrodos colectores y alambres en el centro como electrodos de descarga o corona, sin carga entre ellos, es decir sin partículas cargadas ni gas ionizado, con estas suposiciones la ecuación anterior en coordenadas cilíndricas será:

$$\frac{dE}{dr} + \frac{E}{r} = 0 \quad (4)$$

Porque E, es sólo función del radio (r). Al integrarse la ecuación (4), se transforma en :

$$E = \frac{C}{r} \quad (5)$$

donde la constante de integración (C), se obtiene de substituir la ecuación (5) en la (2) e integrar de  $R_1$  a  $R_2$  que son los radios del sistema alambre-tubo, respectivamente obteniéndose:

$$V = - C \ln (R_2/R_1) \quad (6)$$

v donde al cambiar el signo y despejar C, se tiene:

$$C = \frac{V}{\ln(R_2/R_1)}$$

por lo que el campo eléctrico en un precipitador en forma cilíndrica estará dado por:

$$E = \frac{V}{r \ln(R_2/R_1)} \quad [V/m] \quad (7)$$

Para un precipitador compuesto de una placa como electrodo colector y un electrodo de descarga, la ecuación de campo eléctrico se reduce a :

$$E = \frac{V}{X} \quad [V/m] \quad (8)$$

donde X es la distancia entre electrodo y placa.

### 3.3.2 GENERACION DE LA CORONA

El principio electrostático aplicado en los precipitadores electrostáticos, hace que la generación de la corona en los electrodos de descarga cobre gran importancia, ya que las partículas de polvo adquieren por medio de esta corona la carga necesaria para ser capturadas; la carga es adquirida principalmente por contacto con los iones en el gas acarreado,

tanto por la radiación de fondo como por la avalancha de electrones provenientes del electrodo corona.

La corriente de iones necesaria para cargar las partículas se forma a través del efecto corona. dicho efecto tiene lugar cuando se aplica un alto voltaje de corriente directa, al electrodo de descarga del cual se desprenden electrones capaces de ionizar el gas acarreado, la avalancha de electrones se puede detectar por la emisión de luz y de sonido que tiene lugar.

En un precipitador electrostático es necesario cuidar que no se alcance el voltaje de ruptura que da lugar a la desaparición de la corona, lo anterior ocurre cuando los electrones generados en la corona, son incapaces de unirse a las moléculas de gas para formar iones negativos, como consecuencia de esto los electrones se mueven hacia el electrodo positivo produciéndose así, un chispazo que desaparece la corona.

Ya que en la formación de la corona se emplea corriente directa se tiene la alternativa de emplear corriente positiva o negativa, es por esto que existen precipitadores de corona positiva y otros de corona negativa. La corona negativa es más estable, ya que no se alcanza tan fácilmente el voltaje de ruptura.

Una descarga negativa bajo condiciones predominantes en precipitadores electrostáticos, generalmente produce una alta corriente a un voltaje dado, y el voltaje de chispa, el cual coloca en un límite superior la operación de potencial del precipitador, es también usualmente grande.

El principal uso de corona negativa ocurre en los



precipitadores de uso doméstico, ya que mientras se incrementa la corriente y el voltaje, dando como resultado una superior eficiencia del precipitador, la corona negativa frecuentemente produce ozono en ciertas cantidades.

El problema de la variación de la corriente en un precipitador con cierto voltaje aplicado, ha sido tratado por varios autores, entre los que destaca Townsend (\*). Se ha encontrado experimentalmente, que esta variación depende de la geometría del precipitador y de las propiedades del polvo.

El punto realmente importante, es la obtención del voltaje inicial ( $V_c$ ) para la formación de la corona.

donde:

$$V_c = r_0 E C \ln(d/r_0) \quad (V) \quad (9)$$

Siendo  $r_0$  = radio del electrodo de descarga.

$d$  es un parámetro representado por:

$$d = \frac{4s}{\pi} \quad \text{para} \quad \frac{s}{c} \leq 0.6 \quad (10)$$

$$d = \frac{c}{\pi} e^{(\pi s/2c)} \quad \text{para} \quad \frac{s}{c} \geq 2 \quad (11)$$

Donde:

$2s$  = Espacio entre placa y placa

$2c$  = Espacio entre electrodo y electrodo

(\*) Myron Robinson, *Electrostatic Precipitation*, 42.45,

(1963)

Para:  $0.6 < \frac{s}{c} < 2$  ( Ver la figura No. 3)

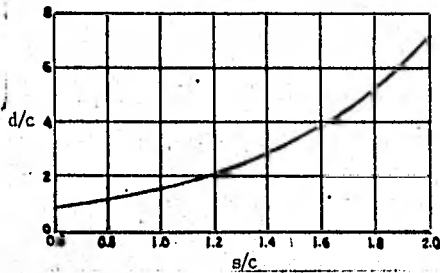


Figura No. 3

Ec esta dado por:

$$\frac{Ec}{\delta'} = Aq + \frac{Bq}{(r\delta')^{1/2}} \quad (12)$$

Para condiciones normales de presión y temperatura para el aire la densidad relativa ( $\delta'$ ) es igual a 1.

Para corona negativa en el aire  $Aq=32.2 \times 10^5 [V/m]$  y  $Bq=8.46 \times 10^4 [V/m^{1/2}]$ .

Siendo Ec:

$$Ec = 32.2 \times 10^5 + \frac{8.46 \times 10^4}{(r\delta')^{1/2}} \quad [V/m] \quad (13)$$

De la ecuación anterior, se puede ver que para obtener un voltaje mínimo en la formación de la corona, es necesario usar

electrodos con un radio o de una curvatura lo más pequeño que su resistencia mecánica permita.

La corriente negativa de descarga ( $I_c$ ) será calculada en base a la siguiente ecuación:

$$I_c = 2\pi\epsilon_0 b \phi(r_0 E_c / s) \quad (14)$$

Donde el parámetro  $\phi$  se obtiene por medio de las relaciones de Townsend graficando  $\phi$  contra la relación de voltajes, donde la relación de voltajes es:

$$\frac{V_0 - V_c}{V_c} \ln(s/r_0) \quad (15)$$

$\epsilon_0 = 8.86 \times 10^{-12}$  [F/m] permeabilidad del espacio libre

$b = 2.3 \times 10^{-4}$  [m<sup>2</sup>/V-sec] Movilidad de un ion de aire en condiciones normales. (Ver figura No. 4)

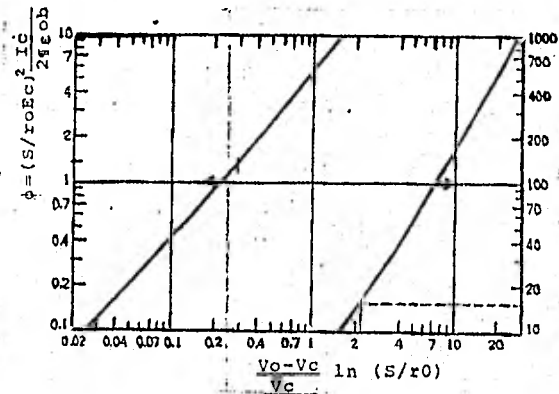


Figura No. 4

### 3.3.3 LA CARGA EN LAS PARTICULAS

Al aplicar una diferencia de potencial entre los electrodos colector y de descarga, se establecen entre ellos, dos zonas eléctricas distintas. La primera es la que rodea inmediatamente al electrodo de descarga, en el que se forma una corona resplandeciente por la carga eléctrica en el gas, debido a la gran intensidad de campo eléctrico cerca de la superficie del electrodo y es entonces cuando se ionizan más moléculas del gas.

La segunda zona también llamada exterior, ocupa gran parte del espacio interelectrodos, con una intensidad de campo más baja y con una densa nube de iones de gas, con la misma polaridad del electrodo corona, y que se mueven rápidamente hacia el electrodo colector bajo la influencia del campo eléctrico.

Las partículas de polvo llevadas por el gas, adquieren la carga eléctrica de la misma polaridad que los iones del gas debido a que colisionan con ellos.

Una vez que las partículas de polvo han adquirido carga del mismo signo que el electrodo de descarga, éstas también serán empujadas hacia el electrodo colector.

Se considera que en la colisión entre las moléculas del gas ionizado y las partículas del polvo, se efectúa el cargado a través de dos procesos diferentes, uno por bombardeo y el otro por difusión de iones, aunque en la práctica ambos ocurren al mismo tiempo, el cargado por bombardeo generalmente es el que domina.

En el cargado por bombardeo, los iones de gas se mueven

rápidamente, bajo la influencia del campo eléctrico aplicado chocando con las partículas de polvo y adhiriéndose a la superficie de éstas, de el área superficial, de las propiedades dieléctricas de las partículas y también del tiempo en que las partículas puedan estar adquiriendo carga.

En el cálculo teórico de la adquisición de carga, se supone que:

1. Las partículas son esféricas
2. La distancia interpartículas es grande comparada con el diámetro de las partículas
3. La concentración de iones y el campo eléctrico son inicialmente uniformes
4. El proceso de cargado no se ve alterado por la presencia del campo eléctrico creado alrededor de una partícula cargada

La densidad de carga superficial en general esta dada por:

$$\sigma = \frac{q \text{ (carga total)}}{S \text{ (superficie)}} \quad (16)$$

Donde  $S = 4\pi r^2$  para una esfera.

También se sabe que la densidad de carga superficial es directamente proporcional a la intensidad del campo (E), por lo que:

$$\sigma = \epsilon_0 E$$

Donde  $\epsilon_0 = 1/4\pi K$  y  $K = 8.987 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{Coul}^2$   
 que es la constante que aparece en la ley de Coulomb.

Relacionando (16) y (17) se obtiene:

$$q = 4\pi\epsilon_0 r^2 E \quad (18)$$

Donde:

$r$  = radio de la partícula [m]

$E$  = Intensidad de campo eléctrico [V/m]

Se ha encontrado teórica y experimentalmente que la cantidad de carga sobre una partícula es función también de sus características dieléctricas, como de la rapidez con la que se va cargando y esto es:

$$q = \frac{3\epsilon}{\epsilon + 2} \left[ \frac{E_0 d p^2}{4} \right] \left[ \frac{t}{t + t_0} \right] \quad (19)$$

Donde:

$\epsilon$  = Constante dieléctrica

$t$  = Tiempo de cargado

$t_0 = 1/nNeK$ . Constante del tiempo

$e$  = Carga eléctrica elemental ( $1.6 \times 10^{-19}$ )

$N$  = Concentración de iones

$K$  = Movilidad de iones

### 3.3.4 VELOCIDAD DE EMIGRACION DE LAS PARTICULAS CARGADAS

Una vez que el material particulado adquiere una carga

eléctricas, se ve influenciado por el campo eléctrico presente y emigra hacia el electrodo colector, alejándose del electrodo de descarga que tiene la misma polaridad de las partículas, mientras que algunas de ellas, cercanas o dentro de la zona de la corona, se cargan con iones de polaridad opuesta a la corona, emigrando hacia el electrodo de descarga.

La descripción completa es muy compleja, puesto que el campo eléctrico disminuye con la distancia y las partículas adquieren cantidades diferentes de carga al moverse a través del precipitador.

A pesar de lo complejo que resulta tener un modelo que describa la emigración de las partículas, se ha desarrollado un modelo basado en las siguientes suposiciones:

1. Se considera que las partículas se cargan completamente durante su paso a través del campo eléctrico presente.
2. Se supone que el flujo dentro del precipitador es laminar, para garantizar la distribución uniforme de partículas en la sección transversal del precipitador.
3. Las partículas se mueven hacia el electrodo colector, perpendicularmente a la corriente del gas, de tal forma que la resistencia del fluido se encuentra bajo un régimen de fluido viscoso y por lo tanto se cumple la ley de Stokes.
4. No hay efectos de repulsión entre las partículas cargadas con la misma polaridad.
5. El asentamiento de polvo cerca de las paredes no tiene

influencia alguna.

6. El efecto del movimiento de los iones de gas denominado viento eléctrico se desprecia.

7. La velocidad de la corriente de gas, a través del precipitador no afecta la velocidad de emigración de los iones.

8. Las partículas se mueven con su velocidad terminal.

Con las suposiciones anteriores y dado que las partículas de interés son finas, se puede despreciar la fuerza gravitacional, de tal forma que la ecuación que describe el movimiento de las partículas es:

$$F_e - R = ma \quad (20)$$

Donde:

$F_e$ , es la fuerza eléctrica sobre una partícula de carga ( $q$ ), en un campo de intensidad ( $E$ ); la resistencia de la partícula a moverse en un fluido es  $R$ , y está dada por la ley de Stokes.  $R = (3\pi\eta dw)/Kc$  para partículas esféricas con diámetro menor de  $30\mu m$ , moviéndose en una región laminar.

Como  $a = dw/dt$  entonces la ecuación será:

$$m \frac{dw}{dt} = qE - \frac{3\pi\eta dw}{Kc}$$

Donde:

$m$  = masa



$w$  = Velocidad de emigración  
 $d_p$  = Diámetro de la partícula  
 $\nu$  = Coeficiente de viscosidad  
 $K_c$  = Coeficiente de Cunningham

El coeficiente de Cunningham es un factor de corrección para partículas con un diámetro menor de  $3\mu\text{m}$  y está dado por:

$$K_c = 1 + 2\lambda/d_p (1.257 + 0.4e^{(-0.55d_p/\lambda)}) \quad (21)$$

Donde:

$d_p$  = Diámetro de la partícula  
 $\lambda = \nu / 0.569U_m$  Trayectoria libre de las moléculas  
 $U_m$  = Velocidad molecular promedio  
 $\rho_g$  = Densidad del gas  
 $\nu$  = Viscosidad del gas

Resolviendo la ecuación diferencial y aplicando condiciones de frontera se obtiene:

$$W = \frac{qEK_c}{3\pi\nu d_p} \left[ 1 - \exp(-3\pi\nu d_p t / K_c m) \right] \quad (22)$$

El término  $3\pi\nu d_p / K_c m$  es mucho mayor que cero y aunque el tiempo de residencia ( $t$ ) es pequeño del orden de  $10^{-2}$  seg., el término exponencial tiende a cero y puede despreciarse,

simplificandose la ecuación en la siguiente:

$$W = \frac{qKcE}{3\mu dp} \quad (23)$$

Donde:

q=Carga de la partícula[Coul]

E=Campo eléctrico[Statvolts /cm]

dp=Diámetro de la partícula[cm]

Kc=Factor de Corrección de Cunningham[#]

$\mu$ =Viscosidad del gas [poises]

### 3.4 PARTES, ACCESORIOS Y MATERIALES EN EL SISTEMA PURIFICADOR

#### 3.4.1 SISTEMA DE CONTROL

El sistema eléctrico de control en los precipitadores, opera con alto voltaje de corriente directa.

El sistema que proporciona la potencia en un precipitador tiene los siguientes componentes básicos:

1. Transformador de alto voltaje
2. Rectificador
3. Unidad reguladora
4. Unidad de control

Se han usado diversos tipos de rectificadores. entre los que destacan los rectificadores mecánicos de tipo síncrono, los de selenio y actualmente los de silicio.

El voltaje está limitado a alcanzar el voltaje de rompimiento o de ruptura que ocurre entre los dos electrodos y debe estar controlado para evitar que se exceda este nivel que no es constante y que varía con la concentración y composición del polvo. con la composición y temperatura del gas. la presión, el contenido de humedad. las variaciones en el proceso. etc.

La unidad de control del equipo de potencia eleva el voltaje hasta el nivel de ruptura y después lo reduce ha un nivel más bajo para volverlo a elevar otra vez. La reducción del voltaje a de hacerse tan rápido como sea posible, mientras que el aumento se hace lentamente.

Cuando ocurre una descarga eléctrica provocada por sobrepasar el nivel de ruptura. el voltaje dentro del precipitador cae prácticamente a cero y por consecuencia también la eficiencia de colección, para contrarrestar ésto. el equipo de control debe regresar el voltaje a su valor tan pronto como sea posible.

Las unidades que regulan los transformadores-rectificadores. constan de una resistencia en serie con un transformador. un autotransformador, un transductor (dispositivo que transfiere energía de un circuito a otro. sin cambiar la forma de la energía) y finalmente un tiristor. Cualquier combinación de autotransformadores y transductores con un control automático se considera equipo estandar para un precipitador. Los autotransformadores controlan el voltaje y los transductores

controlan la corriente.

La entrada de energía eléctrica es por medio de interruptores y equipos de protección adecuada. La distribución de energía al transformador elevador y al rectificador se modula en un elemento de control que se coloca en serie con la entrada al transformador por medio de un transductor.

La acción de este elemento de control se determina por la acción de una señal proveniente de la sección amplificadora del equipo. La función de este amplificador es modificar las señales recibidas incrementando su amplitud para mejorar el funcionamiento del elemento de control principal.

### **3.4.2 SISTEMA DE PROPULSION**

#### **REJILLAS**

Una rejilla simple es una abertura que suele estar situada en las paredes laterales, destinada a la entrada de aire en el recinto y que carece de medios para el control de aquél. Las rejillas con registro son aberturas también en las paredes laterales, pero con láminas móviles que permiten controlar el

volumen de aire que por ellas pasa.

Tanto unas como otras pueden usarse para introducir aire en el recinto o para extraerlo de él.

Las rejillas cumplen la función de realizar una distribución correcta del aire en los ambientes acondicionados. Pero, al mismo tiempo, deberán cumplir otras condiciones:

- a). Simular en forma eficaz y atractiva el orificio del conducto.
- b). Desviar o difundir el aire.
- c). Controlar el flujo del aire.
- d). No producir ni propagar ruidos.

Las rejillas y registros suelen hacerse de acero, aluminio y otros materiales, con varios tipos de acabado.

La longitud y la anchura de las rejillas se expresan en milímetros o centímetros, y el producto de las dos dimensiones da su área total. Esta área total, disminuida en la de los bordes, corresponde al área libre, que es a través de la cual circula el aire y, por tanto, la que habrá de tenerse en cuenta.

El área libre varía según el fabricante, pero suele estar comprendida entre el 75 y el 80% de la total. En las rejillas de retorno deberán emplearse áreas libres del 60 al 90%.

Al calcular el tamaño de la rejilla no se deberá tener en consideración la moldura, sino la anchura y la longitud de la superficie útil.

De modo general hay seis tipos de rejillas para la distribución de aire en los recintos, cada uno de los cuales tiene su dispositivo especial para alimentar el aire. Se trata de tipos

de una a seis direcciones.

El aire queda desviado mediante la inclusión de láminas inclinadas en la parte frontal de las rejas, las cuales pueden ser fijas o móviles. Estas últimas tienen mayor flexibilidad a la hora de permitir regulaciones posteriores, por lo que es aconsejable su instalación.

## VENTILADORES

Los ventiladores son divididos en dos grandes clasificaciones:

### 1. Ventiladores Centrifugos

El flujo de aire está en ángulo recto con respecto a los ejes de rotación del rotor.

Un ventilador centrífugo consiste de una rueda o rotor montado sobre un eje que gira en una caja la cual envuelve completamente al rotor. El aire entra en el ojo del rotor, efectúa una vuelta en ángulo recto y es forzado a través de los álabes del rotor por la fuerza centrífuga que proporciona la presión estática a la corriente de aire.

Los ventiladores centrífugos pueden ser divididos en tres grandes grupos:

- a). Alabes curvados hacia adelante
- b). Alabes curvados hacia atrás.
- c). Alabes rectos o radiales.

## 2. Ventiladores de Flujo Axial

El flujo de aire es paralelo a los ejes de rotación del rotor.

Los ventiladores de flujo axial incluyen todos aquellos donde el aire fluye a través del impulsor sustancialmente paralelo al eje sobre el cual está montado. Los ventiladores de flujo axial dependen de la acción de las hélices para succionar el aire por el orificio de entrada y descargarlo por el orificio de salida, en donde el modelo del flujo de aire es helicoidal. Se pueden instalar paletas estacionarias del lado de la succión o la descarga del rotor o bien a ambos lados. Estas paletas convierten la fuerza centrífuga y el modelo del flujo helicoidal en presión estática.

Los ventiladores de flujo axial pueden dividirse en dos grandes clasificaciones:

### a). Tipo de hélice.

Llevar grandes discos como álabes o bien álabes estrechos. El número de álabes varía de 6 a 12 generalmente. Los álabes del ventilador de hélice pueden montarse sobre un centro grande o pequeño, dependiendo del uso del ventilador.

b). Tipo de Tubo axial

Es similar al de hélice, excepto en que está montado en un tubo o cilindro. Es más eficiente que el ventilador de hélice y dependiendo del diseño, puede desarrollar medianas presiones. Este tipo es el más satisfactorio para mover aire conteniendo humos condensables, pigmentos y otros materiales que se colectarían sobre los álabes.

En este tipo de ventiladores la curva de la potencia puede ser esencialmente baja y de limitaciones propias, dependiendo del diseño de los álabes.

La potencia alcanza un valor máximo cuando no hay descarga y disminuye a medida que se incrementa la capacidad.

La máxima eficiencia ocurre a un porcentaje de descarga mayor que en los ventiladores centrífugos, el espacio requerido para un trabajo específico es excepcionalmente bajo y pueden ser instalados directamente en ductos circulares como sucede en los de vena axial o tubo axial; el costo inicial es bajo.

El ventilador del tipo axial es el que mejor se adapta para manejar grandes volúmenes de aire contra bajas resistencias. El tipo de hélice que es equipado solo con un anillo de montura, es comúnmente usado para ventilación y es montado directamente en una pared.

La información necesaria para seleccionar ventiladores es:



1. Volumen y presión estática requerida
  2. Tipo de material manejado por el ventilador
  3. Tipo de transmisión
  4. Materiales de construcción
  5. Temperatura de operación
1. Volumen y presión estática

La presión estática requerida debe ser la suma de la presión necesaria para mover el aire a través de los ductos más la caída de presión en el dispositivo de control.

2. Tipo de material manejado por el ventilador

Para material fibroso o altas corrientes de polvo en la corriente de aire debe elegirse un ventilador axial.

3. Tipo de transmisión

La transmisión directa ofrece la ventaja de tener una unidad más compacta y asegura una velocidad constante en el ventilador lo cual no ocurrirá si existe deslizamiento de las bandas, lo cual sucede si a éstas no se les da mantenimiento apropiado.

#### 4. Materiales de construcción

El tipo de material que se usa en la construcción depende de las condiciones y características de la corriente gaseosa y polvo manejado.

El acero inoxidable es el metal más usado para resistencia a la corrosión y da resultados muy satisfactorios para humos de muchos ácidos.

El uso de hule para cubrir la caja y el rotor de los ventiladores merece mención especial ya que es uno de los materiales menos porosos para protección contra gases y humos corrosivos.

Los ventiladores cubiertos con hule tienen gran duración y se encuentran muy difundidos en la industria química.

#### 3.4.3 SISTEMA DE COLECCION DE PARTICULAS

##### CUERPO

Su función es encerrar el flujo de aire, evitar la excesiva pérdida de calor y proporcionar una estructura de soporte para los electrodos. El cuerpo es normalmente rectangular, donde los electrodos de placas son usados, o cilíndrico si se usan tubos de electrodos. Los Cuerpos cilíndricos pueden también ser usados con placas tipo precipitador de electrodos.

El material del cuerpo es acero, plástico, u otros, pero

debido a problemas particulares de corrosión puede ser forrado con: ladrillo, tabique o aceros resistentes a la corrosión. Usualmente se requiere aislamiento para mantener el cuerpo a una temperatura por encima del punto de condensación si los gases contienen materiales corrosivos.

#### ELECTRODOS DE DESCARGA

Son hechos generalmente de acero, cobre, tungsteno u otros materiales.

Pueden ser de una gran variedad. La forma y tamaño son gobernados por la corona y los requerimientos mecánicos del sistema.

Cada precipitador contiene uno o más campos de descarga de alto voltaje que se excitan individualmente. Estos campos están eléctricamente aislados del resto del precipitador, ordenados formando módulos que corresponden a los módulos de los electrodos colectores y colocados de tal forma que los alambres de descarga cuelgan precisamente a lo largo de la línea media de los pasadizos del gas. Constan de:

- 1 aislador soporte de canal alimentado.
- 1 aislador de la bobina de inducción.
- 3 aisladores de soporte de tensión.
- alambre de descarga eléctrica.

Los alambres del electrodo de descarga son redondos, retorcidos y están reforzados arriba y abajo para el buen contacto eléctrico y para resistir el desgaste mecánico y eléctrico.

Los electrodos de descarga deben mantenerse rectos y verticales.

#### ELECTRODOS COLECTORES

Están fabricados a precisión con rodillo, de chapa fina laminada en frío para asegurarse de que sean planos y bien alineados y después se fijan a paneles de electrodos, colocados con mucha precisión en una plantilla que ocupa todo el espacio adecuado.

Los materiales que se usan para su fabricación son acero, aluminio, etc.

Hay varios diseños de electrodos de colección, principalmente procurando una mejor protección para minimizar el polvo residual. La principal consideración ha sido proveer rigidez a los electrodos placa y proveer alguna protección a la capa de polvo colectada. Un requerimiento adicional es que el borde de las placas de colección debe estar libre de bordes agudos que puedan provocar localizaciones de altas regiones de campo, lo cual puede resultar en chisporroteos y bajos voltajes.

#### 3.4.4 SISTEMA DE ELIMINACION DE OZONO Y MALOS OLORES

El ozono es un irritante pulmonar que afecta las membranas mucosas, otros tejidos del pulmón y la función respiratoria. La mayor parte del ozono en el ambiente se debe a la acción de la luz sobre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, los que, a su vez, son emitidos en los gases de emisión de automóviles y de otros procesos de combustión.

Algunos aparatos eléctricos también lo producen.

Los absorbentes que se emplean en el control de la contaminación del aire consisten de diferentes tipos de material: carbón activado, gel de sílice, alúmina y bauxita. Por razones prácticas el carbón activado es el que se emplea más para eliminar los vapores orgánicos de las emisiones gaseosas.

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

Para que un material sea buen absorbente debe tener una proporción superficie/volumen grande, ya que el fenómeno tiene lugar en la superficie del material.

El carbón activado se usa como absorbente porque tiene una área superficial bastante grande ( $10^{24}$  m<sup>2</sup>/g) y un tamaño de poro muy pequeño (de 10 a 20 Å). Hay varias teorías acerca de lo que sucede cuando un gas de las emisiones que contiene moléculas orgánicas atraviesa un lecho de carbón activado. Una de ellas afirma que las fuerzas desequilibradas de las moléculas superficiales del carbón quedan satisfechas cuando otras moléculas se adhieren a la superficie, es decir se absorben. Las fuerzas responsables se llaman comúnmente de Van der Waals. Un segundo tipo, la quimioadsorción, es la que se encuentra con menor frecuencia. En este caso el material que va a ser adsorbido se une a la superficie por fuerzas químicas energéticas, en cuyo caso el proceso es irreversible. El carbón seleccionado para la adsorción de la fase vapor debe tener determinadas cualidades. Tiene que ser suficientemente duro y resistente al desgaste para soportar la ruptura que tiene lugar en un lecho que constantemente atraviesa una corriente de aire. Debe tener también una gran capacidad para adsorber el gas o vapor que se supone ha de recuperarse y deberá dejarlo libre fácilmente durante el ciclo de regeneración. Las materias primas que se usan para la fabricación de carbones destinados a la fase vapor consisten en carbón, producto secundario del coque de fangos ácidos, y cáscaras de coco y otras nueces. Los tamaños normalmente empleados para la adsorción de la fase vapor son, de acuerdo con una serie de números de criba (Sieve Series) de los Estados Unidos: 4 x 10, 6 x 16 y 12 x 30, aunque también se encuentran de otros tamaños.

La adsorción de carbón activado se usa generalmente para

eliminar compuestos orgánicos de las corrientes gaseosas de desechos, cuando prevalecen las siguientes condiciones:

1. Cuando la corriente contiene cantidades muy pequeñas de cualquier solvente orgánico que no se pueda descargar en la atmósfera.
2. Cuando la corriente contiene cantidades relativamente altas de solvente que se puede recuperar.
3. Cuando la corriente contiene uno o más compuestos orgánicos que no se pueden eliminar por medio de cualquier otro método de control de la contaminación.

La temperatura de la mezcla gaseosa que se va a tratar debe ser inferior al punto de ebullición de los contaminantes que se van a recuperar. La velocidad del gas al atravesar el lecho tiene que ir de acuerdo con las recomendadas por el fabricante. También es preferible mantener la caída de presión lo más bajo posible ya que tendrá efectos económicos en lo que se refiere al gasto de energía del ventilador que hay que usar para enviar o succionar los vapores a través del lecho de carbón.

Cuanto más profunda es la capa de carbón, mejor es la absorción del compuesto en las partículas de carbón. Sin embargo, esta profundidad tiene que equilibrarse con la caída de presión al atravesar la capa. En general las capas delgadas con malla o criba muy pequeña y tienen la misma eficiencia que las capas o lechos gruesos de una malla mucho más grande.

## TIPOS DE SISTEMAS

Hay dos tipos fundamentales: el regenerativo y el no regenerativo. En la mayoría de las aplicaciones industriales se emplea el regenerativo, o sea, el que está diseñado para la recuperación de solventes o vapores costosos. El tipo no regenerativo se usa por lo general cuando la concentración de vapor es extremadamente pequeña y se puede desechar el carbón con el vapor absorbido.

Varias aplicaciones de los sistemas no regenerativos se encuentran en los equipos de acondicionamiento de aire, en las plantas de energía nuclear, en las escuelas, en los restaurantes, etc. Estos sistemas eliminan pequeñas cantidades de humo de cigarrillos, gases de escape del motor de combustión interna y los olores inherentes a los domicilios. Generalmente son de capa delgada con caída de presión pequeña, del orden de 0.47 mm de Hg. El carbón está en forma de cartuchos rellenos, intercambiables. Cuando el carbón del cartucho ya está lleno de contaminantes, se desecha o se envía al fabricante para que lo someta al proceso de regeneración.

Los materiales de construcción de un sistema de carbón activado dependerán de los vapores orgánicos que se estén separando. Generalmente pueden construirse de acero al carbón para casi todas las aplicaciones. Se usa acero inoxidable cuando se trata de ésteres y cetonas, porque los ácidos orgánicos se forman por hidrólisis de estos compuestos. Cuando se absorben hidrocarburos clorados o fluorizados quizá se necesite emplear

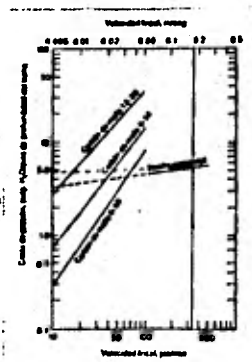


revestimientos de hule o níquel resistente a la corrosión en los recipientes de los absorbedores.

El carbón activado se puede combinar con un acarreador inerte (por ejemplo papel, textiles, o filamentos plásticos extrusionados) a fin de proveer una variedad de diseños de los lechos de absorción. Los materiales acarreadores contienen entre 50 y 80% de carbón. Los absorbedores de lecho delgado tienen mayor capacidad de eliminación de contaminantes que los diseños impregnados de carbón. Se utilizan perfiles planos, cilindricos y plegados. Los recipientes cilindricos se diseñan para casi  $0.7 \text{ m}^3/\text{min}$  de aire, las celdas plegadas para  $20\text{-}30 \text{ m}^3/\text{min}$ , y los lechos con agregados de celdas planas para  $60 \text{ m}^3/\text{min}$ . Las velocidades superficiales para las aplicaciones a lechos planos se encuentran típicamente entre  $0.12\text{-}0.25 \text{ m}/\text{seg}$ . y las características de caída de presión se indican en la tabla No. 4.

El espesor de los lechos delgados varía desde 1.3 a 1.8 cm.

TABLA No. 4



### 3.5 DISEÑO DEL SISTEMA PURIFICADOR

#### 3.5.1 PARAMETROS DE DISEÑO

El problema básico en el diseño de los precipitadores, es la determinación de los parámetros principales para el tamaño del precipitador, la distribución de los electrodos y la fuente de energía necesaria para alcanzar los niveles de óptimo funcionamiento.

El diseño de un precipitador electrostático puede deducirse en principio, teóricamente si todas las variables significativas se conocieran. Pero como esto no ocurre, en la práctica es necesario especificar algunos de los parámetros de diseño básicos en función únicamente de la experiencia.

Los parámetros básicos necesarios en el diseño y los valores numéricos empleados en el caso de que el material colectado sea polvo común y corriente que se encuentra en todos los hogares, se encuentran en la siguiente tabla.

Debe notarse que los valores de esos parámetros, varían con las propiedades de las partículas y el gas, con el flujo de gas y con la eficiencia de colección requerida.

El parámetro de la velocidad de emigración  $W$ , es muy importante y el valor numérico que se alcanza durante la operación depende tanto de los factores de calidad como de la precisión en el alineamiento de los electrodos de precipitación, la uniformidad y suavidad del flujo de gas.

TABLA No. 5

PARAMETRO	SIMBOLO
Flujo del gas	Q
Temperatura del gas	T
Presión del gas	P
Viscosidad del gas	$\nu$
Velocidad del gas	V
Densidad del gas	$\delta g$
Diámetro de las partículas	dp
Constante dieléctrica	$\epsilon$
Densidad de las partículas	$\delta p$
Velocidad de emigración de las partículas	W
Voltaje de Ionización	V
Voltaje de iniciación de la Corona	Vc
Corriente de iniciación de la Corona	Ic
Eficiencia requerida	$\eta$
Area de Colección	Ac
Radio del electrodo de descarga	ro

### 3.5.2 EFICIENCIA DEL SISTEMA PURIFICADOR

El punto más importante en el diseño de cualquier equipo, para el control de emisiones de material particulado, es la eficiencia de colección del equipo.

Deutch (\*\*) desarrolló una ecuación para determinar teóricamente el grado de captación de polvo, en base a las siguientes suposiciones:

1. Distribución transversal uniforme de las partículas de polvo en el gas acarreador.

2. No se desprende el polvo colectado y no hay reingreso al fluido.
3. La velocidad tanto del gas como de las partículas que emigran permanece constante.
4. La razón concentración de partículas-volumen del gas, es tan pequeña que no hay interferencia entre las partículas.

De acuerdo a las restricciones anteriores, la eficiencia de colección de un precipitador electrostático es:

$$\eta = 1 - e^{(-WA/Q)} \quad (24)$$

Donde:

$\eta$  = Eficiencia de colección  
 $A$  = Área de colección [m<sup>2</sup>]  
 $W$  = Velocidad de emigración de las partículas [m/seg]  
 $Q$  = Flujo de gas. [m<sup>3</sup>/seg]

(\*\*) Deutch W., Ann der Physik, 60, 395 (1922).

### 3.5.3 CALCULOS DEL DISEÑO

#### 3.5.3.1 CALCULOS DEL SISTEMA DE PROPULSION

##### CALCULO DE LAS REJILLAS

Para seleccionar las rejillas de alimentación y retorno se pueden emplear 2 métodos, una vez determinada la cantidad de aire de cada local. Usando tablas o por método gráfico.

tabla típica de selección de rejillas de alimentación para instalaciones de bienestar personal.

TABLA No. 6

m <sup>3</sup> /hr	REJILLAS SIMPLES		REJILLAS DE DOBLE DEFLEXION	
	Medidas en centímetros	Chorro	Medidas	Chorro
108	25.4 x 10.1	3	20.3 x 10.1	1.5 - 3.0
144	25.4 x 15.2	3.6	20.3 x 10.1	2.1 - 3.6
180	35.6 x 15.2	4.2	30.4 x 10.1	2.1 - 3.6
216	35.6 x 15.2	4.8	30.4 x 10.1	2.4 - 4.2
252	40.6 x 15.2	4.9	20.4 x 15.2	2.4 - 4.8
288	40.6 x 15.2	5.4	20.4 x 15.2	3.0 - 5.1
324	50.8 x 15.2	4.2	35.6 x 15.2	3.0 - 5.1
360	50.8 x 15.2	4.8	35.6 x 15.2	3.0 - 5.7
396	50.8 x 15.2	5.4	35.6 x 15.2	3.3 - 6.0
432	50.8 x 15.2	6	50.8 x 15.2	3.3 - 5.7
468	61.0 x 15.2	6	50.8 x 15.2	3.3 - 6.0
504	76.2 x 15.2	5.4	50.8 x 15.2	3.6 - 6.6
540	76.2 x 15.2	6	50.8 x 15.2	3.9 - 5.9

La rejilla de salida será de 20.4 x 15.2 cm<sup>2</sup>

## CALCULO DEL VENTILADOR

Los factores que hay que tener en cuenta al elegir un ventilador son los siguientes:

1. Dimensiones externas, las cuales son criticas cuando el espacio de que se dispone es limitado.
2. Velocidad en el borde de las paletas, que tiene mucha importancia si el funcionamiento ha de ser silencioso. En general, para un tipo determinado de ventilador, cuanto más pequeña es la velocidad en el borde de las paletas, tanto más silencioso es el aparato.
3. Funcionamiento silencioso, que varía con el tipo y fabricante del ventilador. La mayoría de las casas constructoras suministran las gráficas de los "ruidos" en función del régimen de funcionamiento.
4. Rendimiento, el cual determina el consumo de potencia.
5. Características mecánicas, como son la solidez de las distintas partes y los espesores de las planchas.
6. Precio

Por lo regular es posible tener el volumen de aire y la presión estática deseados con dos o más ventiladores del mismo tipo, pero de diferente tamaño, girando a distinta velocidad. Generalmente, el ventilador que funciona con mayor rendimiento en

las condiciones previstas, no es el más económico de adquisición, y la elección debe reirse por la magnitud relativa de estos factores. En realidad, el factor decisivo es o debería ser el funcionamiento silencioso, el cual lleva de la mano una velocidad reducida en el borde de las paletas, así como también un volumen del ventilador relativamente grande. En términos generales, el funcionamiento es silencioso cuando el rodete gira a una velocidad inferior a la de su máximo rendimiento.

Antes de elegir un ventilador, se debe conocer el volumen de aire que hay que desalojar, su temperatura y la presión estática contra la cual tiene que trabajar el ventilador.

Los fabricantes de ventiladores suministran tablas de las características exactas de funcionamiento de sus aparatos. Esas tablas dan la velocidad de rotación y el consumo en Hp. para distintas presiones estáticas y volúmenes de aire a una temperatura de 22°C y a una presión de 760 mm de Hg.

La elección se hará en base a tablas de fabricantes con los siguientes datos:

$$Q = 250 \text{ m}^3/\text{hr.} = 4.2 \sim 4.5 \text{ m}^3/\text{min.}$$

TABLA No 7

MODELO	CAPACIDAD m <sup>3</sup> /min	DIAMETRO DE ASPA cm	MOTOR Hp	Watts	VOLTS ±10%	AMPERES
EAT-1510	4.5	12	0.01	8	110	0.5
EAT-2070	9.0	20	0.014	10.6	110	0.5
EAT-2540	15	25	0.025	18.6	110	1.0
EAT-3020	29	30	0.05	37.3	110	2.0

Todos trabajan a 1500 R.P.M.

De la tabla se elige el modelo:

EAT-1510

Capacidad= 4.5m<sup>3</sup>/min.  
 Diámetro de la aspa= 12cm  
 Motor= 8 watts  
 Volts= 110 ±10%  
 Amperes= 0.5  
 R.P.M.= 1500  
 Dimensiones= 20 x 20 x 10 cm<sup>3</sup>

Generalidades:

Gabinete tipo cubo  
 lámina rolada en frío  
 Motor monofásico  
 Aspas de aluminio troquelado  
 Nivel de ruido bajo.

### 3.5.3.2 CALCULOS DEL SISTEMA ELECTROSTATICO

No debe perdersé de vista, que un precipitador generalmente se calcula en base a los datos prácticos. tales como la velocidad de los gases en el campo eléctrico y el cálculo de la velocidad de



movimiento de una partícula cargada hacia el electrodo colector, que requiere conocer la dispersión del polvo.

En esta sección se procederá a encontrar las dimensiones de un precipitador electrostático que debe coleccionar polvo y productos contaminantes de una Área cuyas dimensiones aproximadas serán las siguientes:  $100 \text{ m}^3$ , es decir una habitación de 2.5 m de altura y  $40 \text{ m}^2$  de superficie.

Las características del gas acarreador como del polvo a remover son las siguientes:

#### Características del Aire

$$Q = 250 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.07 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$T = 0 - 50^\circ \text{C} = 273 - 323^\circ \text{K}$$

$$P = 1 \text{ atm.}$$

$$\nu_{25^\circ \text{C}} = 1.781 \times 10^{-5} \text{ kg/m-sec} = 1.781 \times 10^{-4} \text{ poise}$$

$$\nu_{50^\circ \text{C}} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ kg/m-sec} = 2.0 \times 10^{-4} \text{ poise}$$

$$R = 8314.3 \text{ J/kmol}^\circ \text{K}$$

$$M = 29 \text{ Kg/Kmol}$$

$$\rho_{25^\circ \text{C}} = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{50^\circ \text{C}} = 1.130 \text{ kg/m}^3$$

#### Propiedades del polvo

$$z = 6.14$$

$$\rho_p = 1.5 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{concentración} = 340 \mu\text{gr/m}^3$$

$$d_p = 0.01 \mu\text{m} \text{ a } 50 \mu\text{m}$$

#### Características del equipo

$$\text{Voltaje de entrada} = 127 \text{ V.C.A. } 60 \text{ Hz}$$

$$\eta = 95\%$$

Tomando en consideración los datos anteriores que son obtenidos de la práctica, y aunque la presión en la Ciudad de

México es de 0.77atm. el diseño varía muy poco. casi nada. el procedimiento para dimensionar un precipitador que cumpla con la eficiencia antes mencionada. es un proceso iterativo bajo la siguiente secuencia:

1. Calcular el factor de corrección de Cunningham para partículas con un diámetro menor de 5µm.
2. Calcular el voltaje de iniciación de la corona. así como la corriente
3. Calcular la velocidad de emigración para cada intervalo de diámetro de las partículas.
4. Suponer una área de colección y calcular una eficiencia fraccional
5. Se obtiene una eficiencia total como un promedio de eficiencias fraccionales
6. Si la eficiencia total obtenida corresponde a la requerida , se suspende el proceso y el área de colección supuesta junto con el área de la sección transversal  $A = Q/v$  y el número de secciones o canales . se logra el dimensionamiento del equipo . Si la eficiencia total requerida no se alcanza. se repite el procedimiento suponiendo otra área de colección.

1. Cálculo del factor de corrección:

$$K_c = 1 + \frac{2\lambda}{d_p} \left[ 1.257 + 0.4 \exp(-0.55d_p/\lambda) \right]$$

$$\lambda = \frac{v}{0.56qUm}$$

$$U_m = \left( \frac{BRT}{\pi M} \right)^{1/2}$$

$$U_m = \left( \frac{8 \times 8314 \times 323}{\pi \times 29} \right)^{1/2} = 485.6 \text{ m/seg.}$$

$$\lambda = \frac{2.0 \times 10^{-5}}{0.5 \times 1.13 \times 485.6} = 7.28 \times 10^{-8} \text{ m}$$

$$K_c = 1 + \frac{1.45 \times 10^{-7}}{d_p} (1.257 + 0.4 \exp(-7.55 \times 10^6 d_p))$$

Donde el factor de corrección de Cunningham queda en función del diámetro de la partícula.

## 2. Cálculo del voltaje y Corriente de iniciación de la corona

$$V_c = n_0 E_c \ln(d/n_0)$$

$$\text{Donde } 2r_0 = 0.2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$2c = 0.17 \text{ m}$$

$$2s = 0.02 \text{ m}$$

$$E_c = 32.2 \times 10^5 + \frac{8.46 \times 10^4}{(n_0)^{1/2}}$$

$$E_c = 32.2 \times 10^5 + \frac{8.46 \times 10^4}{(0.1 \times 10^{-3})^{1/2}} = 1.168 \times 10^7 \text{ V/m}$$

$$\frac{s}{c} = \frac{0.01}{0.085} = 0.1176$$

$0.1176 \leq 0.6$  por lo cual el valor de  $d$  será:

$$d = \frac{4s}{\pi} = \frac{4(0.01)}{\pi} = 0.0127$$

$$V_c = 0.1 \times 10^{-3} (1.168 \times 10^7) \ln(0.0127 / 0.1 \times 10^{-3})$$

$$V_c = 5.66 \times 10^3 \text{ V.}$$

De lo anterior se deduce que se utilizará un voltaje de ionización ( $V_0$ ) de  $6 \times 10^3$  V. de corriente directa.

Para determinar la corriente de iniciación de la corona se usará:

$$I_c = \frac{2\pi\phi\omega b}{s^2} (noEc)^2$$

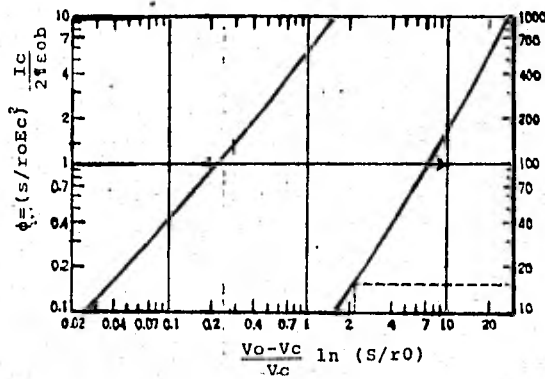
$$\text{Donde } \omega = 8.86 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad \text{y } b = 2.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{V-sec.}$$

La relación de voltajes será:

$$\frac{V_0 - V_c}{V_c} \ln(s/r_0)$$

$$\frac{6 \times 10^{-3} - 5.66 \times 10^{-3}}{5.66 \times 10^{-3}} \ln(0.01/0.1 \times 10^{-3}) = 0.2766$$

Relacionando con la gráfica de Townsend (fig. No. 4)



$$\phi = 1.4$$

$$I_c = \frac{2\pi(1.4)(8.86 \times 10^{-12})(2.3 \times 10^{-4})(1.168 \times 10^7)(0.1 \times 10^{-3})^2}{(0.01)^2}$$

$$I_c = 0.244 \times 10^{-9} \text{ A.}$$

De lo anterior se deduce que se utilizará una corriente de ionización(I) de 1 miliampere.

### 3. Cálculo para la velocidad de emigración

$$W = \frac{KcEa}{3\pi d\rho}$$

$$q = \frac{3\epsilon}{\epsilon + 2} \left[ \frac{E_0 d_0^2}{4} \right] \left[ \frac{t}{t + t_0} \right]$$

$$W = \frac{KcEE_0 d_0 \rho}{4\pi \nu} \left[ \frac{\epsilon}{\epsilon + 2} \right] \left[ \frac{t}{t + t_0} \right]$$

Donde:

t = 1seg. para que la partícula adquiera el 99.5% de la carga

t<sub>0</sub> = 0.002seg.

Para determinar E que será igual a E<sub>0</sub> se divide el voltaje de ionización entre la distancia entre electrodo y placa esto es X = 0.2 cm. donde:

$$E = \frac{V_0}{X} = \frac{6 \times 10^3}{0.5} = 12 \times 10^3 \text{ V/cm}$$

Para poder usar la ecuación de velocidad de emigración se debe pasar E a statvolts/cm.

Donde 1statvolt = 300volts

E = E<sub>0</sub> = 40 statvolts/cm

$$W = \frac{k_c(4\theta)(4\theta)dp}{4\pi(2.5 \times 10^{-4})} \left( \frac{6.14}{6.14 + 2} \right) \left( \frac{1}{1 + 0.002} \right)$$

$$W = 4.79 \times 10^5 \text{ kcdp cm/seg}$$

Con la ecuación:

$$\eta = 1 - e^{(-AW/Q)}$$

$$\text{Donde } Q = 0.07 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = [ ] \text{ m}^2$$

$$W = [ ] \text{ m/seg.}$$

4. Cálculo de la eficiencia fraccional, así como de la eficiencia total suponiendo un área de colección.

T A B L A No. 3

EFICIENCIAS FRACCIONALES

DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (MICRONES)	XC	W (M/SEG)	AREAS SUPUESTAS (M <sup>2</sup> )				
			0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.02	12.61844	0.120284	0.498805	0.578300	0.645123	0.701458	0.748808
0.04	6.627040	0.126974	0.515949	0.596049	0.663228	0.718075	0.765675
0.06	4.651194	0.133475	0.534134	0.615120	0.682026	0.737302	0.782949
0.08	3.673800	0.140780	0.552659	0.634164	0.703312	0.755319	0.799595
0.2	1.975063	0.189211	0.660013	0.741150	0.802459	0.849248	0.884950
0.4	1.462576	0.280229	0.798369	0.864836	0.909460	0.939329	0.959144
0.8	1.227922	0.476539	0.932037	0.965299	0.982292	0.990953	0.995391
1	1.182230	0.566288	0.960676	0.982468	0.992262	0.994827	0.995453
2	1.091160	1.045273	0.997453	0.999427	0.999871	0.999971	0.999991
3	1.060733	1.524273	0.999835	0.999981	0.999997	0.999999	0.999999
4	1.04555	2.003273	0.999989	0.999995	0.999998	0.999999	0.999999
5	1.03644	2.482273	0.999992	0.999996	0.999999	1	1
6	1.030366	2.961273	0.999999	0.999999	1	1	1
7	1.026628	3.440273	0.999999	1	1	1	1
8	1.023775	3.919273	0.999999	1	1	1	1
9	1.020244	4.398273	1	1	1	1	1
10	1.01822	4.877273	1	1	1	1	1
15	1.012146	7.272273	1	1	1	1	1
20	1.00911	9.667273	1	1	1	1	1
25	1.007383	12.06227	1	1	1	1	1
30	1.006873	14.45727	1	1	1	1	1

EFICIENCIAS PROMEDIO

0.578604 0.703689 0.922739 0.937521 0.949309



### 5. Cálculos del dimensionamiento del equipo.

Se obtiene una eficiencia bastante buena con una área de  $0.7m^2$ . no se usa una área de  $0.6m^2$  debido a que las eficiencias son muy semejantes y por cuestiones de espacio.

Si las placas colectoras tienen una anchura de 18cm y deben estar separadas 2cm una de la otra, entonces :

$$Q = v n A_p$$

Donde:

v = velocidad del gas = 2m/seg

Q = flujo del gas =  $0.07m^3$ /seg.

n = Número de espacios entre las placas colectoras

$A_p = (s)(a)$

s = separación entre placas colectoras = 0.02m

a = Ancho de las placas colectoras = 0.18m

$$n = \frac{Q}{v A_p}$$

$$n = \frac{0.07}{2(0.02)(0.18)} = 9.72$$

de lo cual se aproxima  $n = 10$  espacios. de lo anterior deben instalarse 11 placas colectoras.

$$A_c = (L)(a)$$

$$L = \frac{Ac}{a}$$

$$L = \frac{0.7}{(0.18)(11)(2)} = 0.176m$$

El 2 que aparece es debido a que las placas pueden coleccionar material por ambos lados.

Las dimensiones de las placas colectoras serán:

h = altura de las placas = (n)(s) = 10x.02 = 0.20m

a = ancho de las placas = 0.18m

L = Largo de las placas = 0.176m

### 3.5.3.3 CALCULOS DEL FILTRO DE CARBON

#### Areas Superficiales y Tamaño de los poros de carbón activado

Area superficial (m <sup>2</sup> /g)	1100 - 1600
Area superficial (m <sup>2</sup> / cm <sup>3</sup> )	300 - 560
Volumen de los poros (cm <sup>3</sup> /g)	0.80 - 1.20
Volumen de poros (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.40 - 0.42
Diámetro medio del poro	1.50 - 2.0

Especificaciones típicas para el carbón activado utilizado en los purificadores de aire:

Propiedad

retención  
densidad aparente  
dureza  
distribución de las mallas

Especificación

cuando menos 30%  
cuando menos 0.4g/ml  
cuando menos 80%  
variación de 6-14 (serie de tamices)

Para calcular la caída de presión se utiliza figura No. 5 ,  
comparando contra la velocidad lineal del flujo.

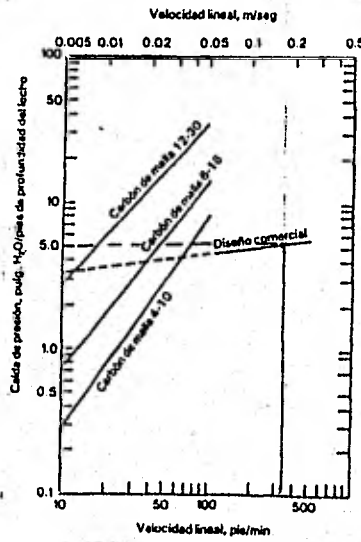


Figura No.5

Para una velocidad de  $2\text{m/seg} = 393\text{pie/min}$  da una caída de presión de  $5\text{pul.H}_2\text{O/pies}$  de profundidad del lecho. lo cual

equivale a 9.34mmHg.

De acuerdo al flujo de entrada (  $\approx 0.07\text{m}^3/\text{seg}$ ), se utilizarán celdas plegadas cuyo espesor será de 1.3 a 1.8cm.

La duración del servicio de determinado lecho de carbón se puede estimar por:

$$t_s = \frac{2.41 \times 10^7 R_t W}{\eta q M C}$$

donde  $t_s$  es el tiempo de servicio del absorbente hasta la saturación (hr);  $R_t$  retención (fracción);  $W$ , peso del absorbente (g/mol);  $q$ , velocidad del flujo de aire ( $\text{m}^3/\text{h}$ ); y  $C$  concentración del contaminante que entra (ppm).

De tablas:

$$R_t = 0.3$$

$$\eta = 95\%$$

$$q = 250\text{m}^3/\text{hr}$$

$$C = 0.11$$

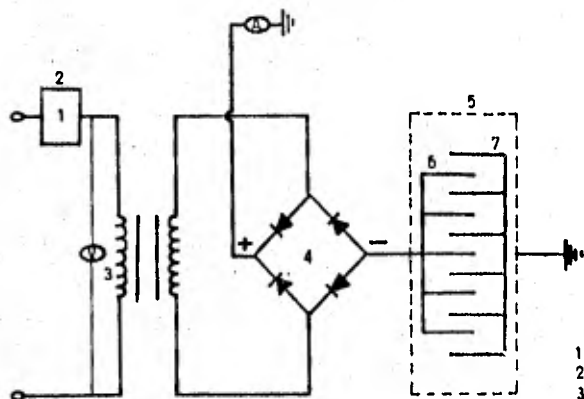
$$M = 153.8$$

$$\frac{t_s}{W} = \frac{2.41 \times 10^7 (0.30)}{0.95 (250) (0.11) (153.8)} = 1.799 \times 10^3 \text{ Hr/kg de carbón}$$

Si  $W = 50\text{qr}$ . de carbón

$t_s = 90$  hr de servicio, si se utiliza media hora diario equivaldría a 6 meses de servicio.

#### 3.5.4 DIBUJOS DEL DISEÑO Y ENSAMBLE FINAL



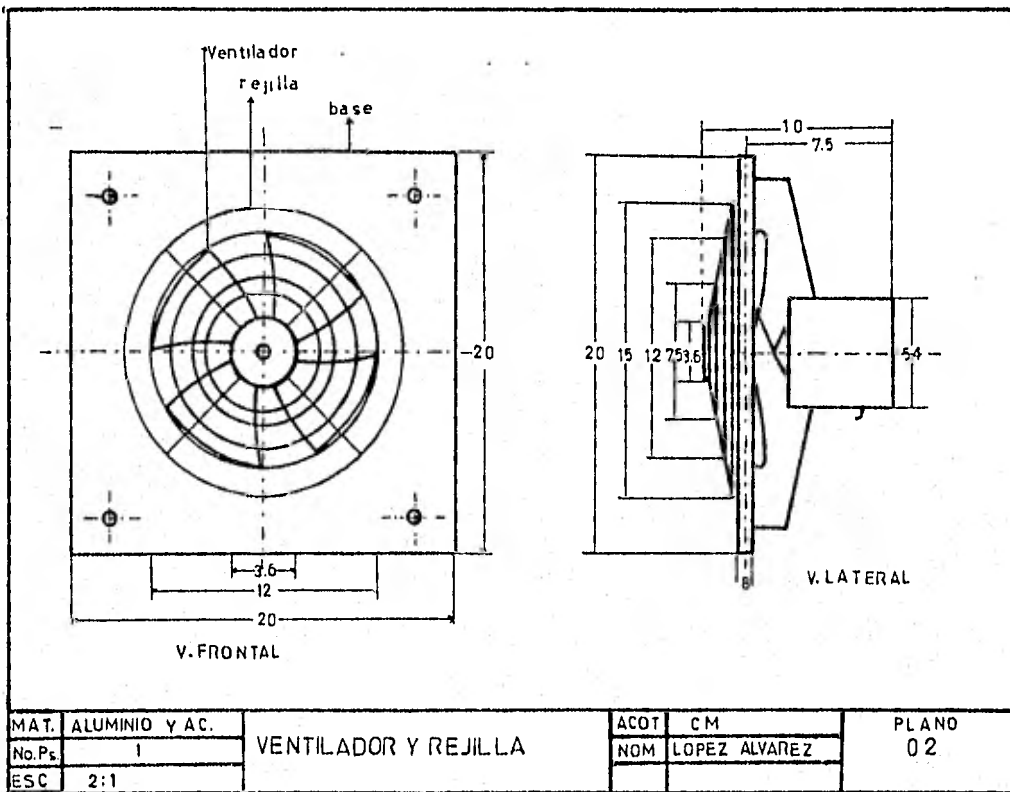
- 1 Regulador de V.
- 2 Equipo de control
- 3 Transformador
- 4 Rectificador
- 5 Sist. electrostatico
- 6 Electrodo de descarga
- 7 Placa colector

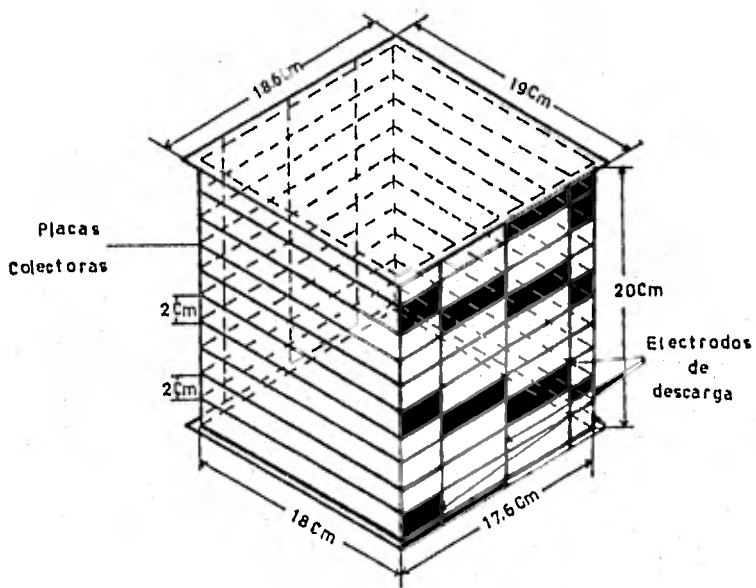
MAT	Al, Cu, W
No. de	7
ESC	

SISTEMA DE CONTROL

A COT.	
NOM.	LOPEZ ALVAREZ

PLANO  
01





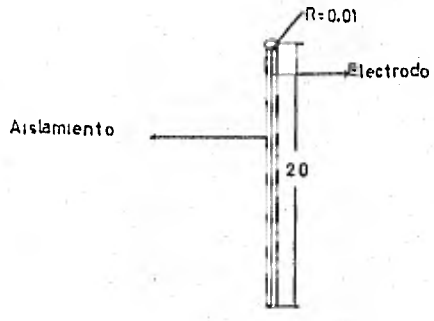
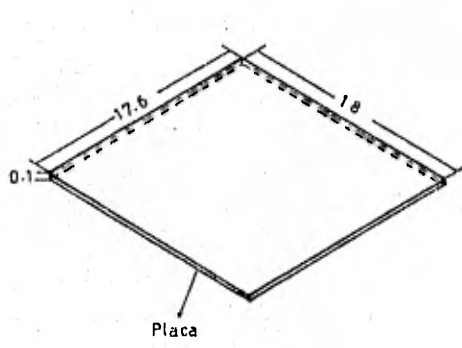
MAT	Al, W
No ps	2
ESC.	3:1

SIST. ELECTROSTATICO

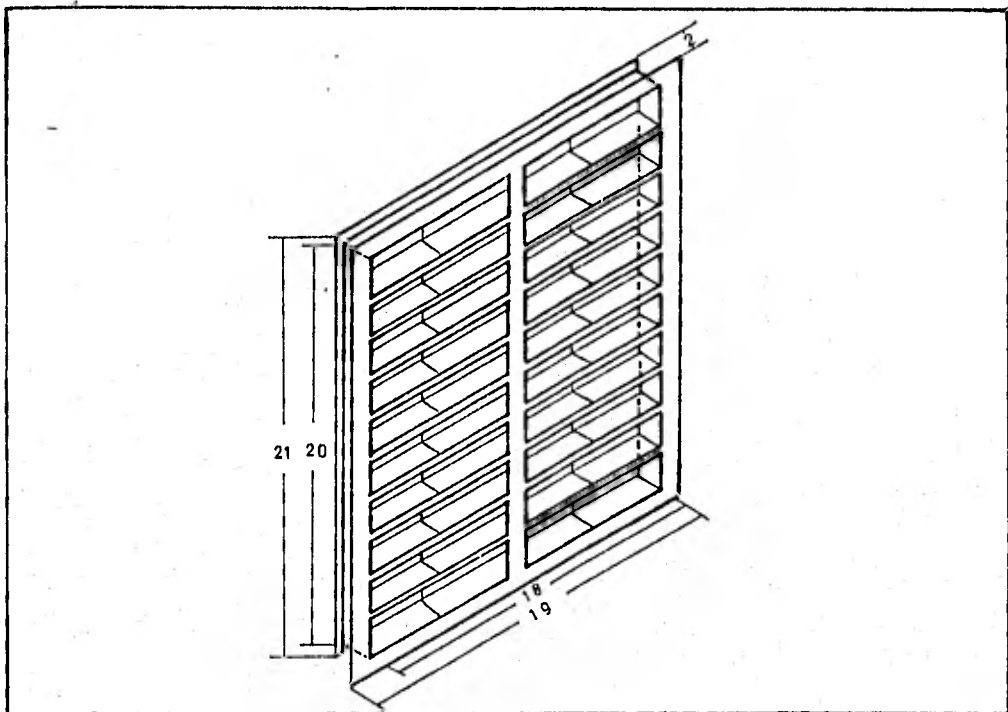
ACOT	CM
NOM.	LOPEZ ALVAREZ

PLANO  
03

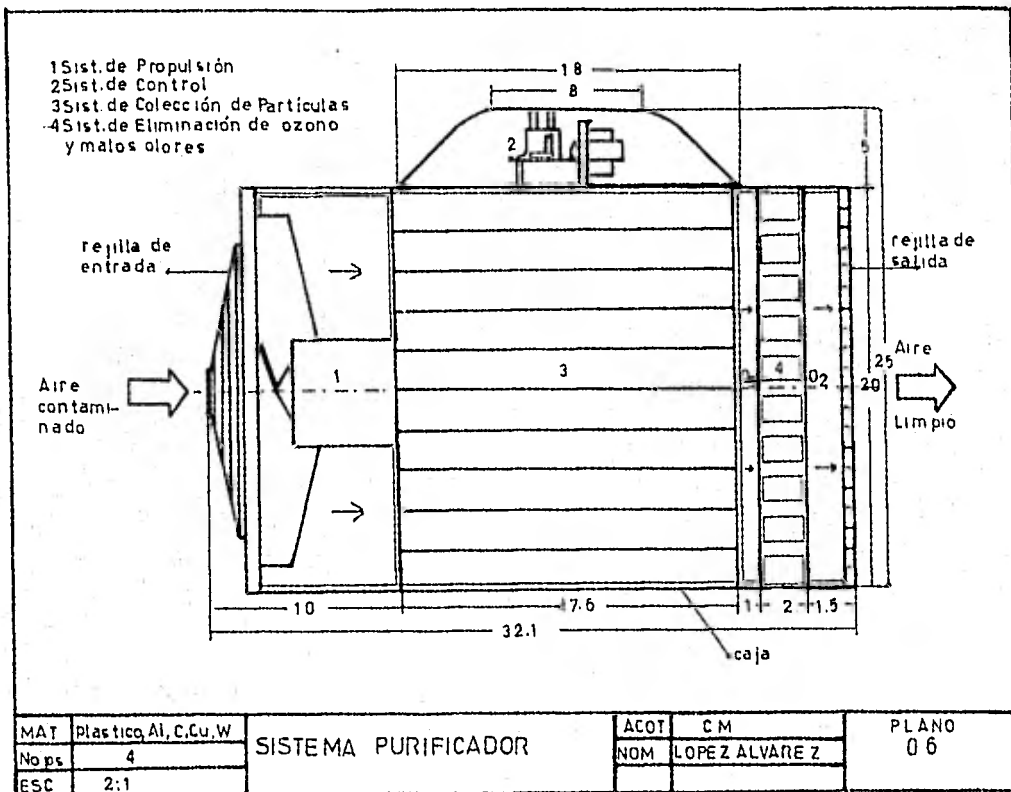


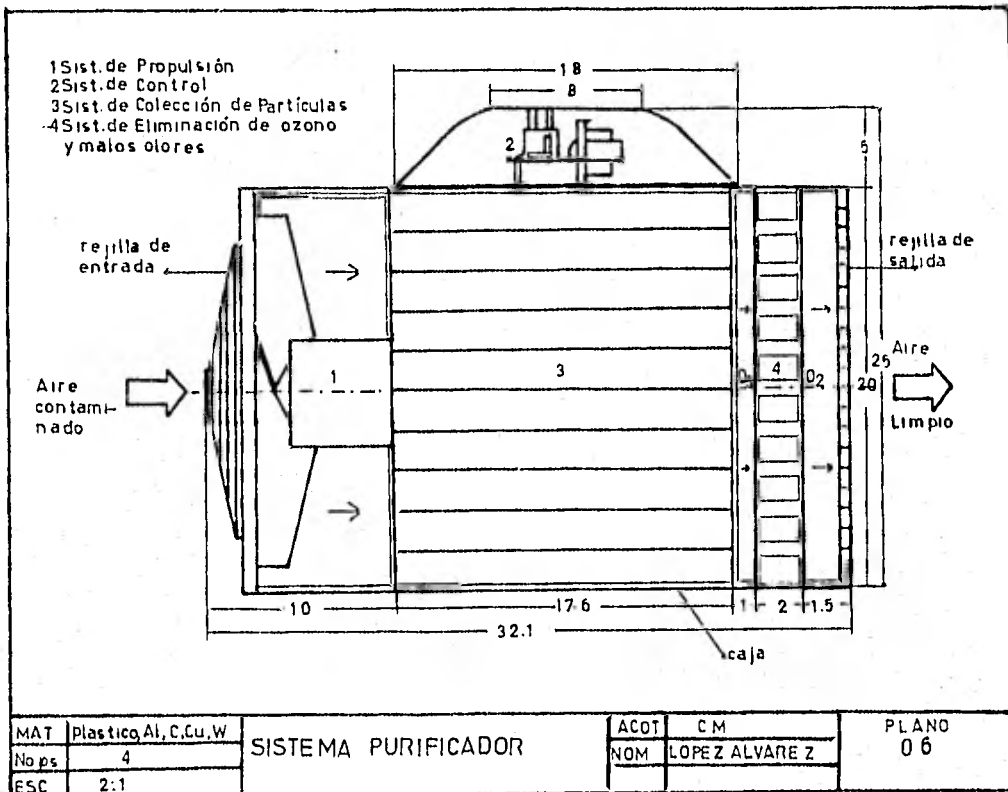


MAT.	Al, W	PLACA COLECTORA Y ELEC - TRODO DE DESCARGA	ACOT.	CM	PLANO 04
Nº de	17		NOM.	LOPEZ ALVAREZ	
ESC.	3:1				



MAT	Al, C	FILTRO DE CARBONO	ACOT	CM	PLANO 05
No. ps	1		NOM	LOPEZ ALVAREZ	
ESC.	2:1				





### 3.6 LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Una vez construido un purificador sus dimensiones físicas y de diseño sólo se pueden cambiar invirtiendo una gran cantidad de dinero y esfuerzo, por esta razón es conveniente establecer y mantener las condiciones de operación revisando los puntos siguientes:

1. Garantizar que el flujo sea laminar en la entrada del purificador.
2. Establecer un ciclo de limpieza óptimo para los electrodos de colección y de descarga.
3. Instalar un sistema de control eléctrico adecuado para el equipo que proporciona la potencia en la operación del purificador.

Las placas colectoras se cubren con un aceite soluble sobre el cual se pegan las partículas y para retirarlas se lavan las placas a intervalos de 2 a 8 semanas.

El filtro para eliminar ozono y malos olores será desechable teniendo un poder de absorción de seis meses. No se debe mojar ya que se satura perdiendo sus propiedades de absorción.

Las dificultades que se pueden presentar durante la operación de el purificador pueden dividirse en tres grandes grupos:

1. Fundamentales
2. Operacionales
3. Eléctrico-mecánicas

Los problemas de carácter fundamental son: reingreso de las partículas ya colectadas, flujo de gas variable, equipo de rectificación inestable, energización insuficiente por falta de electrodos de descarga (falta de carga en las partículas).

Los problemas operacionales son de carácter eléctrico es decir: malos ajustes en los controles y en los rectificadores, corto circuito en la sección de los electrodos de descarga (por ejemplo debido a electrodos de descarga rotos), sobrecarga del purificador debido a un flujo de gas excesivo, ineficiente remoción del polvo colectado.

Finalmente los problemas de origen eléctrico-mecánico son: mala alineación de electrodos, placas colectoras torcidas o agujeradas, electrodos corona que vibren o se balanceen, excesiva cantidad de polvo sobre el electrodo corona, formación de montones de polvo en la entrada y salida del purificador, ruptura de los electrodos corona por fatiga o exceso de carga eléctrica.

### 3.7 EVALUACION ECONOMICA

Por medio de esta evaluación se trata de determinar que precio tiene la construcción del purificador.

Los diferentes precios fueron proporcionados por diferentes fabricantes como son: EDUGON S.A. (sistemas de aire acondicionado), DELTA S.A (Transformadores), VECD S.A (Filtros de carbono), ALSA, S.A (Aluminio) y algunos otros distribuidores de partes electrónicas así como de plásticos y metales.

SISTEMA DE PROPULSION	PRECIO
Ventilador y rejilla de entrada modelo EAT-1510	\$77000
Rejilla de salida (20 x 15)cm	\$11000
SISTEMA DE CONTROL	
Transformador elevador de 127 V a 6000 V.	\$29700
Rectificador	\$8000
Autotransformador	\$17000
Tristor	\$12000
Apagador y resistencias	\$10000
SISTEMA ELECTROSTATICO	
Aluminio de 1mm de espesor se usará $0.35 \text{ m}^2$ lo cual equivale a 0.875 Kg, siendo el precio del Kg=\$15500.00	\$13562
Electrodos de descarga(6)	\$60000

Soportes y sujetadores	\$15000
SISTEMA DE ELIMINACION DE OZONO Y MALOS OLORES	
Filtro de 20 x 20 x 2 cm	\$32929
Caja que soportará la estructura (elástico)	\$15000
TOTAL	\$301.189.00

Más algunos costos que se podrían ignorar en este momento por lo cual el precio aproximado del purificador será de \$350.000.00

Si se compara con los precipitadores que venden en el mercado los cuales son de importación y tienen un precio mínimo de \$700.000.00 para las características del gas que se está manejando, el aparato que se propone es totalmente competitivo.



#### 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En virtud de lo anteriormente expuesto y habiéndose hecho un análisis de la contaminación ambiental ocasionada por el movimiento industrial y demográfico del país así como de los diferentes equipos existentes para su control se puede concluir que los purificadores domésticos de aire son de gran utilidad en oficinas, talleres, hogares, etc.

Actualmente existen equipos para purificar el aire en hogares y recintos cerrados, (que es donde la gente pasa la mayor parte de su tiempo) y la mayoría de estos equipos son extranjeros teniendo un costo en el mercado excesivamente alto, además de crear una dependencia tecnológica en mantenimiento y refacciones.

El purificador aquí propuesto basa su diseño en tecnología ya existente de equipos industriales para control de contaminantes, que básicamente es la misma a nivel casero, con algunas adaptaciones para tratar de mejorar la eficiencia del equipo y adecuarlo a las condiciones requeridas.

Las especificaciones técnicas del equipo son:

Dimensiones	32.1 x 18 x 25 cm.
Peso de la unidad	2 ~ 3 kg.
Alimentación	127 V.C.A. 60Hz.
Voltaje de ionización	6KV.
Corriente de ionización	1mA.
Capacidad de limpieza	1m <sup>3</sup> .

Flujo de aire	250 m <sup>3</sup> /hr.
Eficiencia	95%

Todas las partes que lo integran se pueden fabricar en México. la tecnología usada no es muy avanzada y su elaboración es relativamente simple.

Si se llegara a elaborar en México su costo sería relativamente bajo pudiéndose obtener un producto de igual o mejor calidad que los extranjeros sin tener la dependencia en tecnología y mantenimiento.

Con esto se puede concluir que en México se pueden elaborar productos de alta calidad aprovechando la tecnología ya existente siempre y cuando se sigan altas normas de calidad las cuales le darán al producto alta competitividad en el mercado.

## BIBLIOGRAFIA

1. ALLEN, J.R; WALKER, J.H. 1956. "Calefacción y Acondicionamiento de Aire"  
5a. Edición. Ed. Labor. Barcelona. España.
2. BRETSCHNEIDER, B; KURFURST, J. 1987. "Air Pollution Control Technology"  
Ed. Elsevier Science Publishing Company. Amsterdam. Holanda.
3. CRAWFORD, M. 1976. "Air Pollution Control Theory"  
Ed. McGraw-Hill. U.S.A.
4. FOX, R.W; McDONALD, A.T. 1984. "Introducción a la Mecánica de los Fluidos"  
2a. Edición. Ed. Interamericana. México. D.F.
5. OGLESBY, S; NICHOLS, G.B. 1977. "Electrostatic Precipitation"  
Ed. by Paul Cheremisinoff. Marcel Dekker. New York, U.S.A.
6. PAZAR, C. 1978. "Air and Gas Clean Up Equipment"  
Ed. Noyes Data Corporation. Park Ridge. New Jersey. U.S.A.
7. PERAGALLO, H.R. 1979 "Elementos Basicos de Ar condicionado"  
Hemus-Livraria. Editora Ltda. Sao Paulo. Brazil.

8. FERFY, H.R.; CHILTON, C. 1982. "Manual del Ingeniero Químico"  
5a. Edición. Ed. McGraw-Hill.  
México. D.F.
9. ROSS, R.D. 1972. "Air Pollution and Industry"  
Ed. Van Nostrand Reinhold.  
New York. U.S.A.
10. STRAUSS, W. 1971. "Air Pollution Control" Vol. I  
Ed. Interscience Publishers a  
division of John Wiley & Sons Inc.  
New York. U.S.A.
11. WADDEN, A.R.; SCHEFF, A.P. 1987. "Contaminación del aire en  
Interiores"  
Ed. Limusa. México. D.F.
12. WHITE, H.J. 1963 "Industrial Electrostatic  
Precipitation"  
Ed. Addison Wesley Publishing  
company. U.S.A.