

2 Gen. 75



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**ALTERNATIVAS DE CONTROL DE
EMISIONES CONTAMINANTES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICO

P R E S E N T A

MA. DEL CARMEN ANGELICA MORENO ARGUELLO

DIRECTOR DE TESIS:

M.C.LUIS PABLO GRIJALVA L.

MEXICO, D. F. 1982



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.

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1.	
Clasi ficación, fuente s y efe ctos de la contaminación	3
1.1 Clasi ficación de contamina ntes	3
- Norm as de calidad del aire	7
1.2 Clasi ficación de fuentes	8
- Contaminantes emitidos	10
1.3 Factores que influyen en la dilución o concentración de contaminantes	12
- Contami nación en la Ciudad de Mé- xico	13
- Fallas en el proceso de combustión	14
1.4 Efectos de la contaminación	16
- Como mejorar la combustión	18
CAPITULO 2.	
Téc nicas genera les de control de contaminantes atmosféricos	22
2.1 Colectores secos para humos y - polvos	22
2.1.1 Sedimentación gravitacional	22
2.1.2 Separadores centrífugos	23
2.1.3 Filtros	34
- Medios filtrantes	39
- Clasi ficación de colectores de bolsa	43
- Si stemas de limpiez a	47
- Mantenimien to	55
- Ventajas de los equi pos de filt rado	58
- Desventajas de los equi pos de fil-- trado	59
2.1.4 Precipitadores electros táticos	59
2.2 Lavadores o colectores húme dos (gases, olores, vapores, humos y polvos)	69
- Ads orción	69
- Absorci ón	71
2.2.1 Tor res de aspe rsión	77

	PAG
2.2.2 Torres empacadas	78
2.2.3 Ciclonos húmedos	80
2.2.4 Colector húmedo dinámico (rotoclón)	83
2.2.5 Tipo Venturi	85
CAPITULO 3. Selección de equipo	89
3.1 Importancia de la selección de cam <u>panas</u> de succión	94
3.2 Ductos	106
- Cálculo de ductos	108
3.3 Selección del ventilador	109
- Estudio comparativo de tres tipos - de rotor	115
- Criterio de selección	118
3.4 Selección del equipo de control	120
3.5 Análisis de costos	125
CONCLUSIONES	128
BIBLIOGRAFIA	130

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1. Clasi ficación, fuentes y efe ctos de la contaminación	3
1.1 Clasi ficación de contaminantes	3
- Norm as de calidad del aire	7
1.2 Clasi ficación de fuentes	8
- Contaminantes emitidos	10
1.3 Factores que influyen en la dilución o concentración de contaminantes	12
- Contami nación en la Ciudad de Mé- xico	13
- Fallas en el proc e so de combustión	14
1.4 Efectos de la contaminación	16
- Como mejorar la combustión	18
CAPITULO 2. Técnicas generales de control de contaminantes atmosféricos	22
2.1 Colectores secos para humos y - polvos	22
2.1.1 Sedimentación gravitacional	22
2.1.2 Separadores centrífugos	23
2.1.3 Filtros	34
- Medios fil trante s	39
- Cl asiflcación de colectores de bolsa	43
- Si stemas de limpieza	47
- Mantenimiento	55
- Ventajas de los e qui pos de filt rado	58
- Desventajas de los equipos de fil-- t rado	59
2.1.4 Precipitadores electrostáticos	59
2.2 Lavadores o colectores húmedos (gases, olores, vapores, humos y polvos)	69
- Adsorción	69
- Absorción	71
2.2.1 Torres de asper sión	77

	PAG
2.2.2 Torres empacadas	78
2.2.3 Ciclonos húmedos	80
2.2.4 Colector húmedo dinámico (rotoclón)	83
2.2.5 Tipo Venturi	85
CAPITULO 3. Selección de equipo	89
3.1 Importancia de la selección de cam <u>panas</u> de succión	94
3.2 Ductos	106
- Cálculo de ductos	108
3.3 Selección del ventilador	109
- Estudio comparativo de tres tipos - de rotor	115
- Criterio de selección	118
3.4 Selección del equipo de control	120
3.5 Análisis de costos	125
CONCLUSIONES	128
BIBLIOGRAFIA	130

INDICE DE CUADROS, TABLAS Y GRAFICAS

		PAG
Cuadro Sinóptico 1	Clasificación de contaminantes en el aire	3
Cuadro Sinóptico 2	Clasificación de fuentes	8
Cuadro Sinóptico 3	Criterio de selección y diseño de un equipo de control.	95
Tabla 1.1	Normas de calidad del aire	7
Tabla 1.2	Contaminación	9
Tabla 1.3	Clasificación de gases, fuentes, efectos y control	20
Tabla 1.4	Clasificación de gases, fuentes, efectos y control	21
Tabla 2.1	Efectos en la eficiencia de recolección debido al aumento de ciertos factores	29
Tabla 2.1.1	Colectores secos	68
Tabla 3.1	Tamaño de partículas de polvo y humos emitidas en operaciones industriales típicas y rangos de operación aproximados del equipo de control.	91
Gráfica 3.1.1	Eficiencia de los rotores Tipos A, B y C	121
Gráfica 3.1.2	Nivel de ruido de los rotores Tipos A, B y C	122

INTRODUCCION

Simultáneo al crecimiento de la industria y la población, -
aumenta aceleradamente la contaminación, lesionando en forma gra-
ve tanto a los seres vivos como a la materia inerte.

La contaminación se empezó a considerar como problema a
partir de la década de los sesentas, desafortunadamente aun no se -
cuenta con la conciencia y colaboración responsable de todos los que
de alguna forma pueden combatirla por medio del equipo que se ha
desarrollado para estos fines. Su escasa demanda se debe en gran
parte a la falta de información sobre el mismo y a la idea de que re-
presenta una inversión inútil y costosa. De ahí el interés por investi-
gar este tema con el propósito de mostrar las alternativas de con-
trol para humos, polvos y gases contaminantes de tipo industrial.

Según el porcentaje de contaminación del aire, las emisi-
ones industriales no son las que contribuyen en mayor grado; sin que
ésto signifique un pretexto para no instalar el equipo adecuado.

El tema se desarrolla de la siguiente forma: primero se
clasifican los contaminantes, las fuentes y se mencionan algunos -

de los efectos de la contaminación, después se describen las técnicas generales de control, por último se dan los puntos básicos para la selección del equipo adecuado.

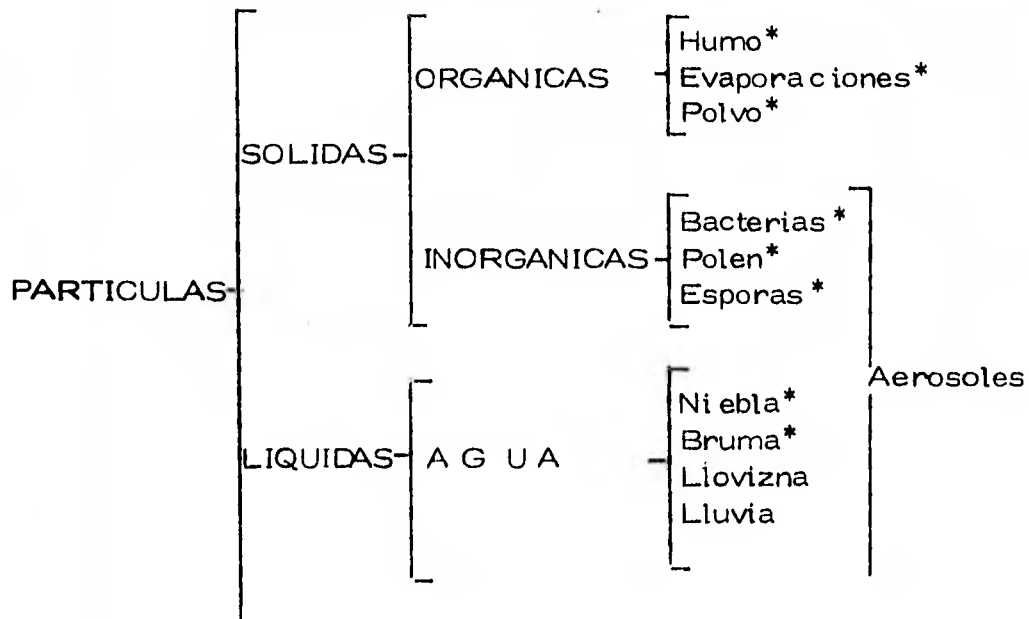
CAPITULO 1

CLASIFICACION, FUENTES Y EFECTOS DE LA CONTAMINACION

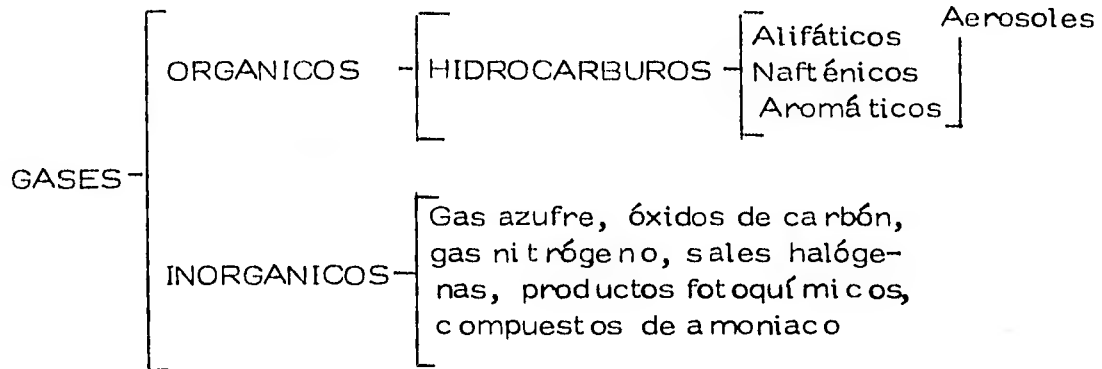
1.1 Se consideran para este estudio las partículas y/o gases presentes en la atmósfera y ajenos a su constitución en concentraciones suficientemente grandes como para interferir directa o indirectamente en la salud, seguridad y confort de los seres vivos o para contribuir en el deterioro físico acelerado de equipos, edificios o de algún material en particular.

Los contaminantes en el aire se clasifican en:

Cuadro Sinóptico 1



Cuadro Sinóptico 1 (Cont.)



* Subpartículas (.005 a 500 u)

Los contaminantes mencionados en el cuadro anterior, -
proviene n de diferentes fuentes y contribuye n a la formación del -
" smog ". Esta palabra se usa para describir la nube que existe -
frecue nte o permanentemente sobre las grandes ciudades y se for-
ma de dos vocablos del idioma inglés que son: SMOKE (humo) y
FOG (niebla).

En la clasificac ión anterior de contaminantes, se mencio-
nan las subpartículas que tienen un tamaño de 0.005 a 500 u - - -
(1/1,000.000 de m.); también se habla de los aerosoles que son un -
compuesto de partículas sólidas y/o líquidas suspendidas en un me-
dio gaseoso. Las partículas de un aerosol real, estrictamente hablan-
do, están en suspens ión contí nua, sin embargo, en la práctica es co-

mún hablar de cualquier sistema compuesto de dos estados, como un aerosol, incluso si la suspensión de partículas de éste es temporal solamente; así por esta definición podemos decir que nuestra atmósfera es un aerosol que continuamente pierde partículas y las recupera normalmente.

Por lo anterior se ve que un aerosol contiene subpartículas que pueden quedar suspendidas en el aire por uno o varios días, incluso semanas, al contrario de las partículas que dependiendo de su tamaño, pueden flotar por periodos largos o cortos. Las subpartículas se miden en un rango químico, desde altamente activas hasta químicamente inertes; las primeras son capaces de ocasionar cambios químicos en el aire y en las superficies expuestas a ellos, hasta llegar a tierra; las segundas pueden actuar como medios de transporte de sustancias activas, ya que las captan en sus superficies expuestas. Este tipo de subpartícula contaminante, puede llevar cierta cantidad de algún metal peligroso y dañino o material no metálico, perjudicial para los pulmones de los seres humanos que lo respiren. Las subpartículas pueden formarse de algún contaminante primario por medio de una reacción química que aún no se precisa como ocurre, lo que se sabe es que algunos gases al abandonar la su

perficie de la tierra, son químicamente transformados a subpartículas sólidas o líquidas, por ejemplo: el bióxido de azufre (SO_2), gas emitido como subproducto de la combustión del carbón, puede transformarse en fragmentos sólidos de sulfato de hierro (FeSO_4) o en gotitas de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Las partículas resultado de la emisión original, son visibles mientras que las subpartículas secundarias que se forman de las emisiones originales, no lo son, pues su diámetro es menor de 2 μ . Las partículas primarias tienden a ser más grandes en promedio que las secundarias.

— Normas de calidad del aire.— Estas fueron establecidas por la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA), de los Estados Unidos de Norteamérica, con el fin de proteger la salud y el bienestar de la comunidad. Dicha agencia definió las normas que figuran en la tabla 1.1, mismas que también en México se han adaptado. En esta tabla se especifican dos tipos de normas: primaria y secundaria; la primera trata de los daños que causa a la salud humana y debe cumplirse primordialmente, la secundaria tiene por objeto proteger la propiedad (edificios, monumentos, etc.) cosechas y ganado de los efectos nocivos de la contaminación.

TABLA 1.1

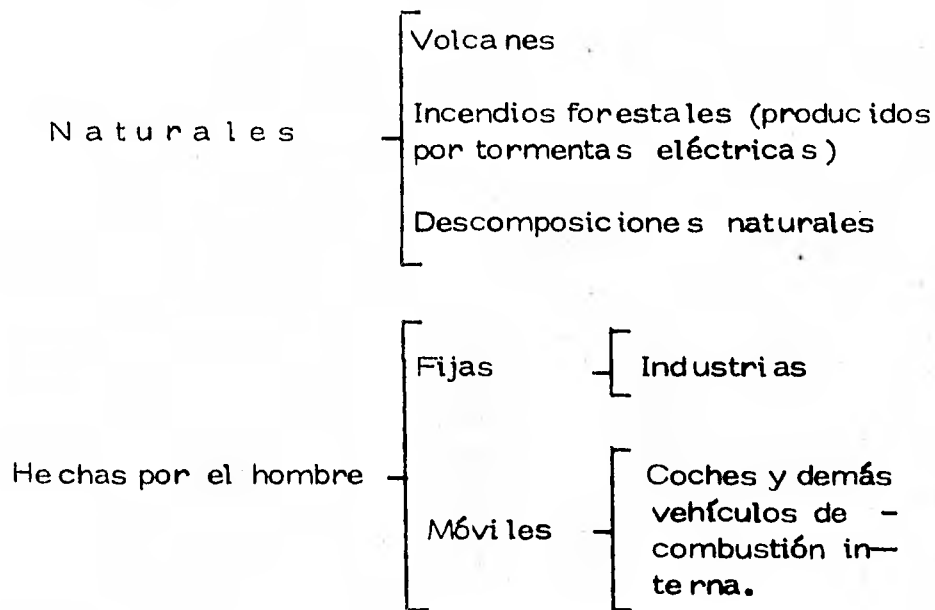
NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

CONTAMINANTE	Tiempo Promedio	S ₁ Norma Primaria	S ₂ Norma Secundaria
Monóxido de Carbono	8 hs	10 mg/m ³ (9 ppm)	Igual que norma primaria
	1 h	40 mg/m ³ (35 ppm)	
Hidrocarburos (excepto metano)	3 hs (de 6 a 9 am)	160 ug/m ³ (24 ppm)	Igual que norma primaria
Dióxido de nitrógeno	promedio anual	100 ug/m ³ (0.05 ppm)	Igual que norma primaria
Oxidantes fotoquímicos (excepto NO ₂)	1 h	160 ug/m ³ (0.08 ppm)	Igual que norma primaria
Partículas	24 hs	260 ug/m ³	150 ug/m ³
Dióxido de azufre	24 hs	365 ug/m ³ (1.14 ppm)	260 ug/m ³ (0.10 ppm)

NOTA: El tiempo promedio indica la duración del mínimo período que se debe muestrear.

1.2 CLASIFICACION DE FUENTES.- Estas se clasifican en:

Cuadro Sinóptico 2



Se consideran emisiones de fuentes naturales las partículas de tierra en suspensión, bacterias, semillas y esporas, polvo lanzado por la llegada de meteoritos y cenizas volcánicas o las emitidas por incendios forestales.

Las fuentes móviles proporcionan el mayor porcentaje de contaminación atmosférica en las áreas urbanas de todo el mundo.

Fuentes fijas en la Ciudad de México.- Se consideran fuentes fijas: la industria eléctrica, industria del cemento, plantas químicas, industria del hierro y del acero, industria papelera y textil, refin_{er}ias, industria del cobre y otras.

En el Valle de México se concentra aproximadamente el 31% del total de la actividad industrial, comercial y de servicios de la - República Mexicana. Según el inventario nacional de fuentes fijas de contaminación atmosférica de humos y polvos de la Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente (SMA), en 1974 existían en el Distrito Fe_{deral} unas 230 mil empresas contaminadoras de la atmósfera, clasifi_{ca}das de la siguiente forma: (Tabla 1.2)

CONTAMINACION

SECTOR	ALTA	MEDIANA	BAJA
Industria	1349	32,344	71,233
Comercio	27	14,160	46,153
Servicio	25	9,689	52,920
Otros	--	3	1,995
Sub total	1401	56,196	172,301

Contaminantes emitidos.- Los hidrocarburos son el origen principal de emisiones contaminantes y se dividen en: alifáticos o parafínicos, nafténicos y aromáticos. Las emisiones que causan mayor contaminación son el monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO_x), óxido de azufre (SO_x) y partículas de materias diversas, las tres últimas son producidas por las fuentes estacionarias, debido a la combustión de productos fósiles en calderas.

Monóxido de carbono (CO).- Es un contaminante que se forma durante la oxidación incompleta de cualquier combustible orgánico. Sus fuentes son las operaciones para refinamiento de petróleo, automóviles, camiones, etc.

Oxidos de nitrógeno (NO_x).- Se forman en la combustión, tanto en fuentes estacionarias como en móviles. El NO_x está formado por un 95% del NO (óxido nítrico) y un 5% de NO_2 (dióxido de nitrógeno), puede reducirse prácticamente solo a la formación del NO que se genera del nitrógeno que contenga el combustible o del de la atmósfera; tiene más importancia en el smog fotoquímico que cualquiera de los otros gases orgánicos contaminantes. El óxido nítrico es considerablemente menos tóxico que el dióxido de nitrógeno, ya que éste actúa como asfixiante cuando su concentración es suficiente pa-

ra reducir o suplir el oxígeno normal del aire. El dióxido de nitrógeno en concentraciones de 5 ppm puede producir lesiones en el pulmón y edema; en concentraciones mayores causa daños fatales.

Oxidos de azufre.- Es un contaminante atmosférico común, se produce en la combustión, particularmente en los combustibles fósiles utilizados en las plantas de energía. Los compuestos de mayor interés son: dióxido de azufre (SO_2), trióxido de azufre (SO_3), ácido sulfuroso (H_2SO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4). Las sales compuestas de azufre, por ejemplo sulfato de cobre (CuSO_4), sulfato de calcio (CaSO_4) y sulfato de magnesio (MgSO_4) son también compuestos importantes y pueden producir en las plantas de energía y los procesos industriales, de manera muy especial las fundidoras. El dióxido de azufre es un gas inflamable e incoloro, la concentración mínima para su detección está entre 0.3 y 1 ppm en aire y su olor principia entre 0.5 ppm aproximadamente. En plantas de energía, el proceso de combustión de SO_2 está entre 40 y 80 partes por una de SO_3 , por lo tanto la emisión mayor es la de SO_2 . El término SO_x se utiliza para denotar la mezcla de óxidos de azufre emitidos a la atmósfera.

Partículas.- Probablemente la clase más común de partí-

culas emitidas en todos lados es el carbón, éstas siempre se presentan entre los productos de la combustión de todo tipo de combustibles orgánicos, incluso en las combustiones que aparentemente son completas. La clase de partículas emitidas varía de acuerdo a la fuente que la genera.

1.3 Factores naturales que influyen en la dilución o concentración de contaminantes.- Cuando los factores meteorológicos son favorables, permiten la dispersión, mezcla y dilución de los contaminantes, mientras que cuando son adversos, facilitan la concentración. Entre los aspectos favorables están: purificación natural del aire que incluye remoción de humos, polvos y de sechos gaseosos por medio del rocío, precipitación, viento y temperatura; depósito de aerosoles por precipitación, convección e impacto sobre la tierra y el agua; y absorción de gases por vegetales, tierra y agua. Las turbulencias mecánicas o térmicas no son un proceso del aire en sentido estricto, ya que no remueven los contaminantes, solo los diluyen. Cuando el aire cargado de partículas fluye a suficiente velocidad y es desviado por superficies estacionarias, se produce una sedimentación aún de las partículas más pequeñas, ya que se forma la misma acción que en un separador centrífugo. El aire y la lluvia son agentes removedores de contaminantes, la neblina y las nubes cúmulos debido a su cons-

tante movilidad, precipitan y diluyen también ciertos contaminantes.-
Los humos, partículas y aerosoles en altas concentraciones tienden a coagularse y formar cadenas mayores que se depositan por precipitación. Todos estos factores ayudan a limpiar de impurezas el aire - que de otro modo tendería a saturarse, hasta hacer inhabitables algunas regiones de la tierra.

Los aspectos desfavorables son: las características topográficas del terreno, la baja velocidad del viento o calmas en días nublados que incrementa el nivel de contaminantes.

— El problema de la contaminación en la Ciudad de México - presenta características particulares, debidas a su situación geográfica, condiciones meteorológicas, perfil del suelo y fuentes contaminantes.

Aspectos topográficos.- El Valle de México está situado en el extremo sur del altiplano mexicano, rodeado de altas montañas, - excepto en el noroeste, por donde entran los vientos dominantes. La altitud media de las tierras del interior del Valle de México es de - 2300 m.s.n.m. El área metropolitana de la Ciudad de México se encuentra localizada en la parte sur del Valle de México, entre el mu

nicipio de Cuautitlán al norte, la Delegación Xochimilco al sur, la Sierra de Magdalena al poniente y el Municipio de los Reyes y la Delegación Tlahuac al oriente. La extensión aproximada de la ciudad es de 2500 Km², la altitud del terreno no difiere más de 50m entre dos puntos extremos, las construcciones no son de altura uniforme y presentan variedad de dimensiones.

Vientos dominantes.- Se denomina así a los vientos que predominan en una dirección determinada a partir de promedios estadísticos de las lecturas de dirección del viento. Estos entran a la Ciudad de México por el corredor Tula-Mixcoac, recorren de Norte a Sur la mayor zona industrial del país localizada al norte de la misma, después atraviesan el área urbana para ir a chocar con la Sierra Magdalena, donde pierden velocidad y doblan hacia el Este para salir de la ciudad por el corredor Tulyehualco-Chalco. Esta disposición del viento, que no siempre entra con gran potencia, provoca que los humos y polvos de la zona industrial al norte de la ciudad, sean arretrados hacia la misma, combinándose con los contaminantes generados en ella. Dadas las condiciones topográficas del Valle de México, el aire contaminado puede permanecer en la ciudad por largos periodos.

— Factores de falla en el proceso de la combustión que influ-

yen en la mayor o menor emisión de contaminantes.- La combustión es el proceso donde sustancias orgánicas e inorgánicas, con la presencia de oxígeno son oxidadas rápidamente a productos inocuos, tales como CO_2 y H_2O , con una combinación propia de tiempo, temperatura y turbulencia. Estos tres factores son llamados las "tres tes" de la combustión. El tiempo de residencia deberá ser mayor que el de combustión, para que ésta ocurra. La temperatura debe ser lo suficientemente alta para alcanzar el punto de ignición de todos los contaminantes gaseosos del sistema. Turbulencia, si ésta no es suficiente, los gases producto de la combustión, pueden formar y servir como barrera entre el O_2 y el material combustible. Los combustibles que se emplean influyen también en la menor o mayor emisión de ciertos contaminantes. Se encuentran en los tres estados de la materia pasando del gaseoso al sólido por una serie de combustibles de diferentes viscosidades, dependiendo del grado de refinación, ya que el carbón y el petróleo contienen azufre en diversas cantidades. El carbón contiene azufre en forma de piritas de hierro que pueden separarse para reducir su contenido. El proceso de desulfurización es costoso pero ya están en desarrollo nuevos procedimientos y equipos más eficientes que resulten menos onerosos para efectuarlo antes, durante y después de la combustión. Los combustibles nacionales en general, son de alto contenido de azufre. Del petróleo pueden obtenerse

los tres productos principales de hidrocarburos: petróleo crudo, gas natural seco y gas natural licuado. El gas natural tiene bajo contenido de azufre y es una mezcla de hidrocarburos ligeros, particularmente metano, es el combustible más deseable de ser utilizado en las plantas generadoras de energía.

1.4 Efectos de la contaminación.- La contaminación ocasionada por la actividad industrial, medios de transporte y servicios, incrementa el nivel de contaminación natural que es bajo y poco nocivo, a grados que rebasan los niveles de seguridad tolerables. En zonas industriales donde en forma regular se generan y emiten gran cantidad de contaminantes, se acumulan concentraciones que pondrían en peligro la salud y vida de los seres de esa comunidad, si los mecanismos naturales y de limpieza no lograrán removerlos y diluirlos en proporción a su emisión.

La contaminación atmosférica modifica los patrones naturales del clima, por ejemplo muchos contaminantes son higroscópicos y actúan como medios de condensación de vapor de agua, que forma neblina, esto ocasiona disminución de la visibilidad y el grado de insolarción. Las gotas que así se forman, son más estables que las de las nubes normales, más fáciles de evaporar y su dispersión es más difícil.

El agua de lluvia que es esencialmente pura o destilada, se forma de la evaporación (ríos, lagos, océanos) y transpiración (de los vegetales) que al entrar en la atmósfera se condensa sobre las partículas sólidas formando parte de los gases atmosféricos, su neutralidad química se ha visto alterada a causa de las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno provenientes principalmente de la combustión de materiales fósiles y de las fundidoras; los cuales al precipitarse con la lluvia o nieve, se transforman en ácidos muy fuertes como el sulfúrico y el nítrico, formándose así la lluvia ácida. La medida de la acidez es el pH que se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno; se evalúa de 0 a 14, un valor de 7 representa la solución neutra, valores menores de ésta, indican que la solución es ácida y valores mayores que existe alcalinidad.

En diversos países como Estados Unidos, Canadá, Suecia, Noruega y Escocia ya se ha registrado esta lluvia; en Escocia en el año de 1974, tuvo un pH de 2.4; en Kane, Pennsylvania el pH alcanzó el 2.7 (tan ácida como vinagre) y en West Virginia fue de 1.5 (tan ácida como jugo de limón). Los efectos de esta lluvia, se hacen sentir en formas diversas, como daño a la vegetación, a la fauna (peces que se extinguen o se contaminan en forma peligrosa, así como las aves que también se ven afectadas), deterioran los esmaltes de los autos,

corroen edificios, puentes y por supuesto, perjudican la salud de los humanos, por lo cual, los países antes mencionados han venido incrementando el presupuesto, desde la década de los setentas, para estudios sobre este problema que abarca ya muchas otras ciudades, el agua de océanos y lugares lejanos incluso, de los centros industriales.

La corrosión es propiciada en parte por la cantidad de partículas en suspensión así como por la cantidad de sales y/o ácidos solubles disueltos por la humedad y condensados sobre los diversos equipos.

— Como se mencionó con anterioridad, la combustión que no se efectúa en forma completa, produce emisiones contaminantes, es por eso un proceso que debe vigilarse; puede llevarse a cabo a fuego directo (con presencia de flama) y en forma catalítica (sin flama) empleando un catalizador metálico que promueve una rápida oxidación. Los postquemadores (flama directa) son los medios más comúnmente usados en control de contaminación del aire donde existen emisiones de aerosoles combustibles, vapores, gases y olores. Los principales componentes de los postquemadores incluyen: cámara de combustión, quemador de gas, controles del quemador e indicador de temperatura. La combustión catalítica (sin flama) es el método de menor tempera-

tura y rápida oxidación de gases, combustibles y vapores. Su temperatura de operación varía entre 343°C (650°F) y 538°C (1000°F), ésta es menor que en la mayor parte de los quemadores de flama directa. - La combustión catalítica es quemar el desperdicio en presencia de un catalizador que nunca llega a formar parte del producto final. El papel del catalizador es el de bajar la temperatura normal de combustión requerida para el proceso. Se utilizan como catalizadores los metales de la familia del platino y otros como el cobre, cromita, níquel, magnesio y cobalto.

En los procesos en donde las formas anteriores no son posibles o adecuadas, existen otros métodos tanto para partículas como para gases que pueden aplicarse y que se mencionarán en el capítulo 2. En las tablas 1.3 y 1.4 se muestran las causas, efectos y control de los contaminantes gaseosos. El control se tratará en el capítulo antes mencionado.

TABLA 1.3

CLASIFICACION DE LOS GASES, FUENTES, EFECTOS Y CONTROL

GASES INORGANICOS		FUENTES	EFECTOS	CONTROL	
OXIDOS DE NITROGENO	Oxido Nitroso	N ₂ O	COMBUSTION DE COMBUSTIBLES	Molestias y daños al hombre Contribución al smog fotoquímico Niebla Daños a las plantas Corrosión de superficies metálicas	Incrementando las temperaturas de combustión, emisiones menores al 50% pueden ser posibles. Torres de rocío, lavadores Venturi, adsorción en sílica GEL
	Oxido Nítrico	NO			
	Dióxido de Nitrógeno	NO ₂			
	Pentóxido de Nitrógeno	N ₂ O ₅			
	Acido Nitroso	HNO ₂			
Acido Nítrico	HNO ₃				
OXIDO DE AZUFRE	Dióxido	SO ₂	Combinación de óxido atmosférico con el azufre de ciertos combustibles durante la combustión.	Molestias y daños al hombre, animales, plantas. Interferencia con la visibilidad $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ ↑ ↑ Vapor Vapor	Depende de la concentración del gas en el conducto. Fuentes de combustión (para baja concentración .05 - .25%) alto volumen. No existen medios económicos. Fuentes de fundiciones (para alta concentración 5-10%) bajo volumen procesos de recuperación por conversión a H ₂ SO ₄ ó sulfato de amonio.
	Trióxido	SO ₃			
OXIDOS DE CARBON.	Monóxido de carbón	CO	Combustión de combustibles Industria	En concentraciones de: CO 1000 ppm la muerte CO 100 ppm { dolor de cabeza pérdida de la vista, decremento en coordinación - muscular	Por medio de una combustión más completa
	Dióxido de carbón	CO ₂			

TABLA 1.4

CLASIFICACION DE LOS GASES; FUENTES, EFECTOS Y CONTROL

GASES INORGANICOS	FUENTES	EFECTOS	CONTROL
<p>ACIDO SULFHIDRICO H_2S</p>	<p>Incluyen procesamiento del petróleo, coquización del carbón, fabricación de pulpa y papel.</p>	<p>Es oxidado en el aire. En forma directa y fotoquímica a H_2SO_4 que es un agente corrosivo potencial. Olores, irritación a los ojos y al sistema respiratorio, daño a la vegetación. El H_2S reacciona con el plomo, base de pinturas, causando la decoloración café o negra.</p>	<p>Torres de rocío Torres empacadas Lavadores Procesos de recuperación</p>
<p>AMONIACO (presente generalmente en concentraciones menores de .2 ppm)</p>	<p>Operaciones químicas Refinerías de petróleo Almacena mientos, etc.</p>	<p>Olores molestos $NH_3 + \text{Acido} \rightarrow \text{Niebla}$ ↑ Vapor (Sal de amonio en aerosol).</p>	<p>Por medio de lavado</p>
<p>GASES ORGANICOS HIDROCARBUROS</p>	<p>Combustión de combustibles Manejo, procesamiento y uso de sustancias químicas, petróleo y sus productos,</p>	<p>Daño a plantas y animales. Irritación a los humanos.</p>	<p>Combustión a $CO_2 + H_2O$</p>
<p>FLUOR FLUORURO DE HIDROGENO HF</p>	<p>Ciertas plantas metalúrgicas de alta temperatura. Industria de la cerámica Industria de los super fosfatos</p>	<p>Daño a plantas y animales</p>	<p>Torres empacadas Torres de rocío</p>

CAPITULO 2

TECNICAS GENERALES DE CONTROL DE CONTAMINANTES
ATMOSFERICOS

Los equipos de control de contaminación atmosférica se encuentran disponibles en un amplio rango de diseños, adaptables a diferentes necesidades. Cada equipo posee una técnica basada en diferentes principios que se tratarán posteriormente en forma somera. Las diversas clasificaciones de estos equipos se basan en sus propiedades o aplicaciones, aquí se dividirán en "húmedos y secos", según se emplee o no líquido para colectar polvos, gases y humos; en cada caso se indicará el tamaño ideal de la partícula a capturar.

2.1 Colectores secos para polvos y humos. - Según su principio de funcionamiento pueden clasificarse en: cámaras de asentamiento gravitacional o sedimentación, separadores centrífugos, filtros y precipitadores electrostáticos.

2.1.1 Cámara de asentamiento gravitacional o de sedimentación.
El principio de este método de colección consiste en pasar los gases lentamente, a través de una cámara larga, para que bajo la acción de la gravedad, caigan las partículas de polvo fuera del fluido gaseoso. La eficiencia del método depende del tamaño de la partícula y de

la densidad del polvo. Se utiliza solo para coleccionar partículas mayores de 50 μ , debido a su baja eficacia con partículas menores y al gran espacio que ocupa dicho equipo, tiene un uso industrial muy limitado. Puede emplearse antes de otro equipo de control de contaminación, para facilitar el trabajo de limpieza, tiene la ventaja de ser extremadamente simple (Fig. 2.1).

2.1.2. Separadores Centrifugos.- Este equipo es una progresión lógica de las cámaras de asentamiento. Las fuerzas de gravedad normales que actúan en las partículas de polvo, se incrementan, ya que son aparatos que limpian el aire empleando la fuerza centrífuga generada por un flujo gaseoso, que gira para separar las partículas del flujo que maneja. Estos separadores pueden clasificarse en: a) ciclones, conjunto de ciclones, b) multiciclones.

a) Ciclones.- (Fig. 2.2) Estos dispositivos son alimentados de aire cargado con polvo que se introduce tangencialmente por la parte superior de un tubo cilíndrico (A), desde ahí el gas sigue el contorno interno de la superficie del cilindro (B). Los ciclones transforman la velocidad de la corriente que entra en dos remolinos, uno exterior descendente y otro interior ascendente, ambos dentro del cilindro (B) y el cono (C) del ciclón. El remolino descendente -

CAMARA DE SEDIMENTACION

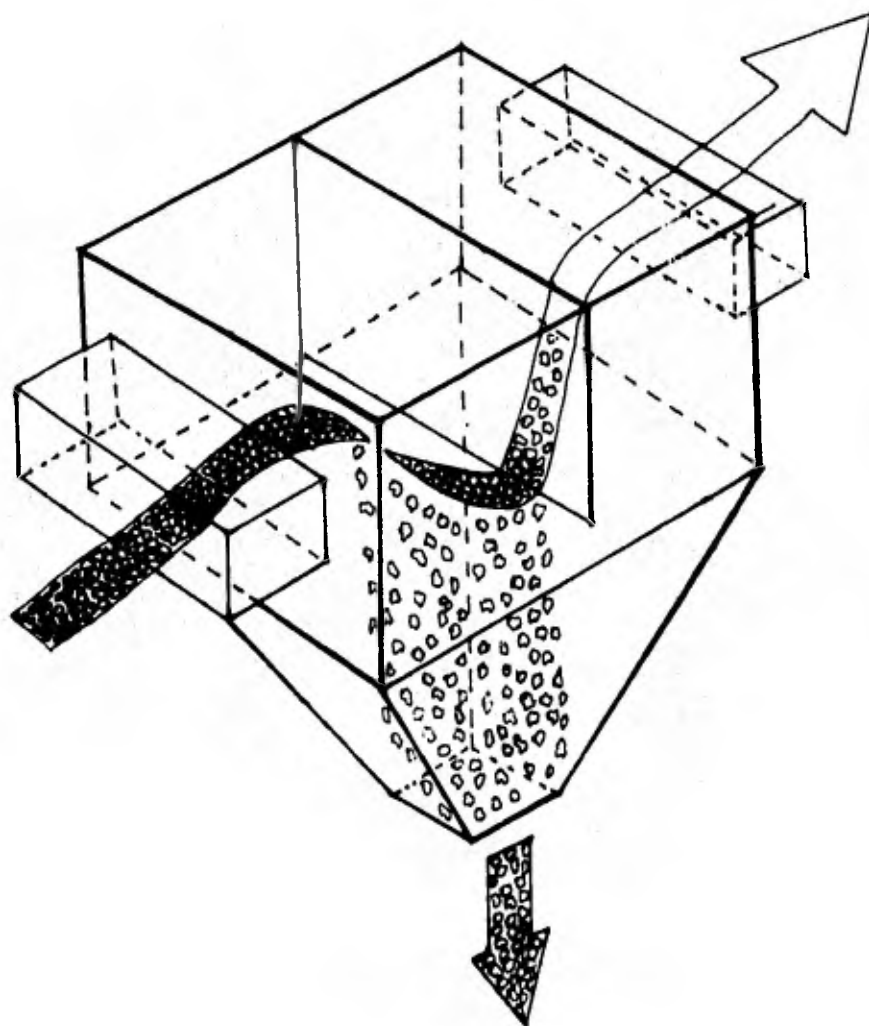


Figura 2.1

CICLON Y SUS PARTES.

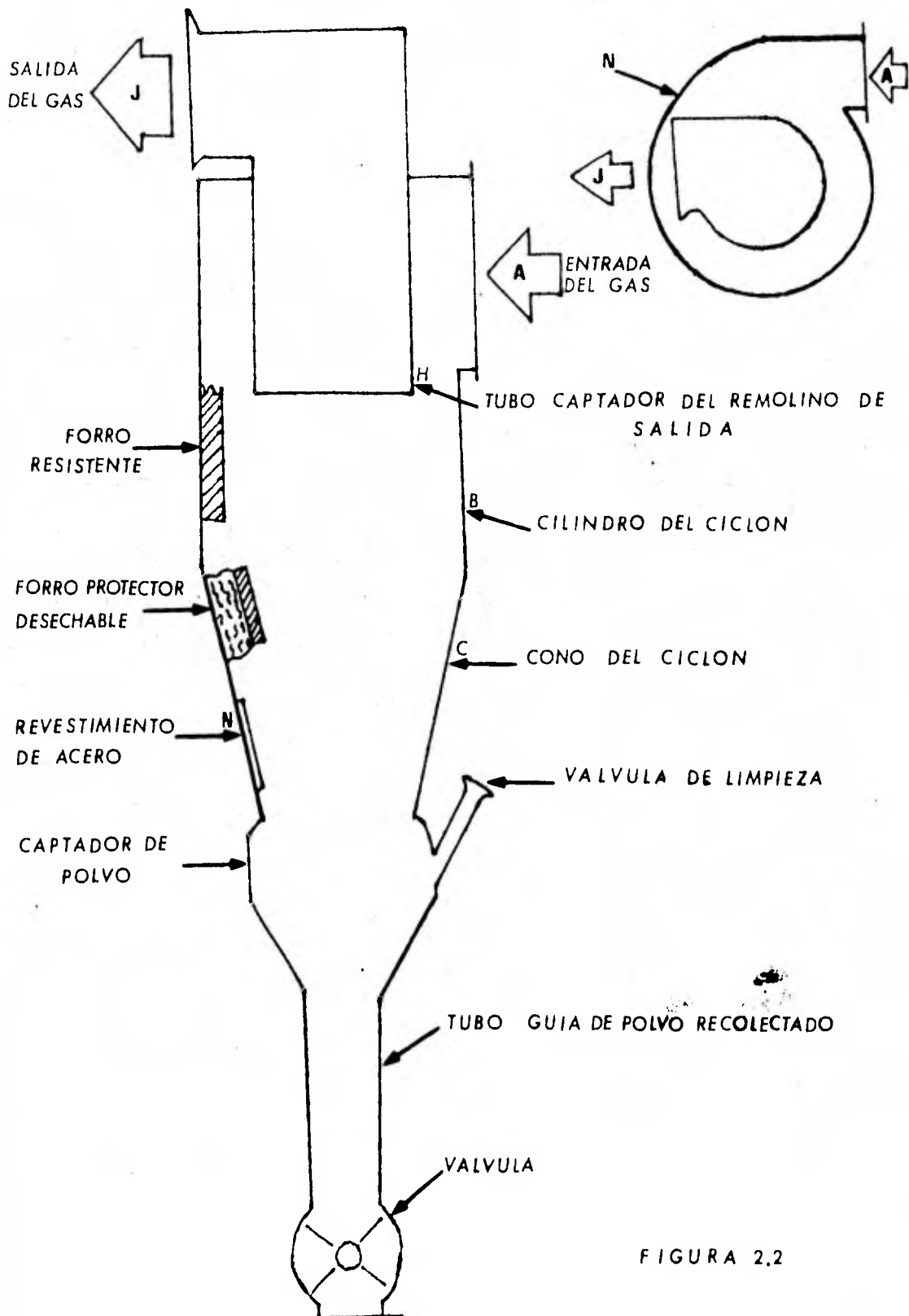


FIGURA 2.2

que gira a gran velocidad entre el cilindro del ciclón y el tubo captador del remolino de salida (H) envía por fuerza centrífuga a las partículas de polvo (por ser más pesadas) contra las paredes del ciclón y las lanza hacia la tolva de la que se extraen periódicamente. El remolino ascendente de gas limpio, abandona el ciclón por el tubo captador del remolino de salida, localizado en la parte superior del mismo (Fig. 2.3). Tubos de diámetros pequeños y altas velocidades del gas de entrada crean una gran fuerza centrífuga. Esta relación se expresa por la fórmula matemática:

$$(1) \text{ Fuerza centrífuga} = \frac{m_p V_p^2}{R}$$

m_p = masa de la partícula
 V_p = velocidad tangencial del gas
 R = radio del tubo

La velocidad del gas y lo reducido del radio en el cual se hace girar, son dos factores importantes que influyen en la eficiencia general y en la acción de limpieza de cualquier colector que emplee la fuerza centrífuga (Fig. 2.4). El rango de eficiencia de colección varía de acuerdo al tamaño de la partícula, para los de baja eficiencia corresponden partículas entre 20 y 40 micras, en los de alta eficiencia se pueden captar partículas desde 5 micras dependiendo de las características del material y del arreglo del equipo.

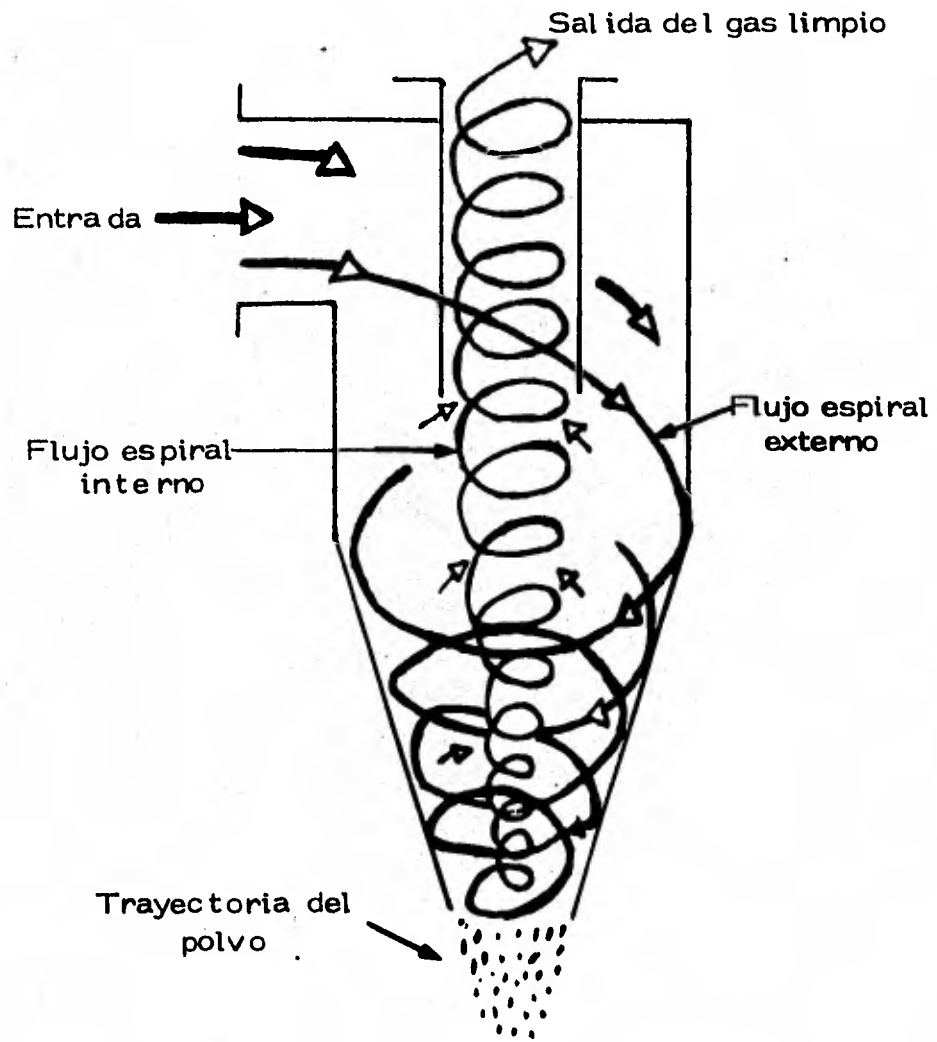


Figura 2.3

CICLON CONVENCIONAL CON RELACION DE DIMENSIONES

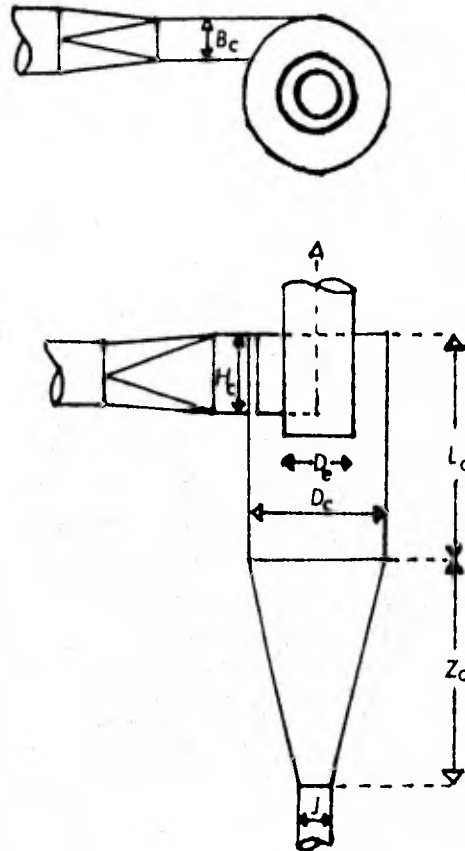


Figura 2.4

Diámetro del cilindro principal	D_c
Longitud del cilindro principal	$L_c = 2D_c$
Longitud del cono	$Z_c = 2D_c$
Diámetro de la salida del gas	$D_e = D_c/2$
Altura de la entrada del gas	$H_c = 0.5 D_c$
Ancho de la entrada del gas	$B_c = 0.25 D_c$
Salida de polvo	$J = 0.25 D_c$

Otros factores que afectan la eficiencia de recolección son los que a continuación se resumen: (Tabla 2.1)

TABLA 2.1

AUMENTO EN	EFFECTO EN LA EFICIENCIA DE RECOLECCION.
Peso específico del polvo	aumenta
Viscosidad del gas (temperatura) ↑	disminuye
Area superficial del polvo	disminuye
Carga del polvo	aumenta
Velocidad de entrada	aumenta

La eficiencia de colección se define como la relación que existe entre la fuerza centrífuga y la fuerza de arrastre:

(2) Fuerza de arrastre = $K d_p \mu_g V_p$

Según la Ley de Stokes para regiones con $d_p < 100 \mu$

K = parámetro adimensional

$$(3) \quad \eta_{\text{col}} = \frac{\text{fuerza centrífuga}}{\text{fuerza de arrastre}} = \frac{V_p \rho_p d_p^2}{R \mu_g}$$

donde: ρ_p = densidad de la partícula
 d_p = diámetro de la partícula
 μ_g = viscosidad del gas

El colector ciclónico es ampliamente usado, de bajo costo, no tiene partes en movimiento y puede trabajar a temperaturas aproximadas a 1000°C (1800°F), con el uso de refractarios adecuados en su construcción.

Los colectores ciclónicos pueden ser instalados en paralelo o en serie, conociéndoseles como conjunto de ciclones. Las unidades en paralelo proporcionan incremento en su capacidad volumétrica, mientras que las unidades en serie proporcionan incremento en su eficacia (Fig. 2.5).

b) Multiciclones (Fig. 2.6).- Difieren de los ciclones por la forma en que se obtiene la acción giratoria, ya que en lugar de lograrla alimentando el gas por medio de un tubo tangencial, se alimenta por arriba, haciéndose girar por medio de unas aspas colocadas en el camino de entrada del gas. Las aspas tienen la ventaja adicional

CICLONES EN PARALELO

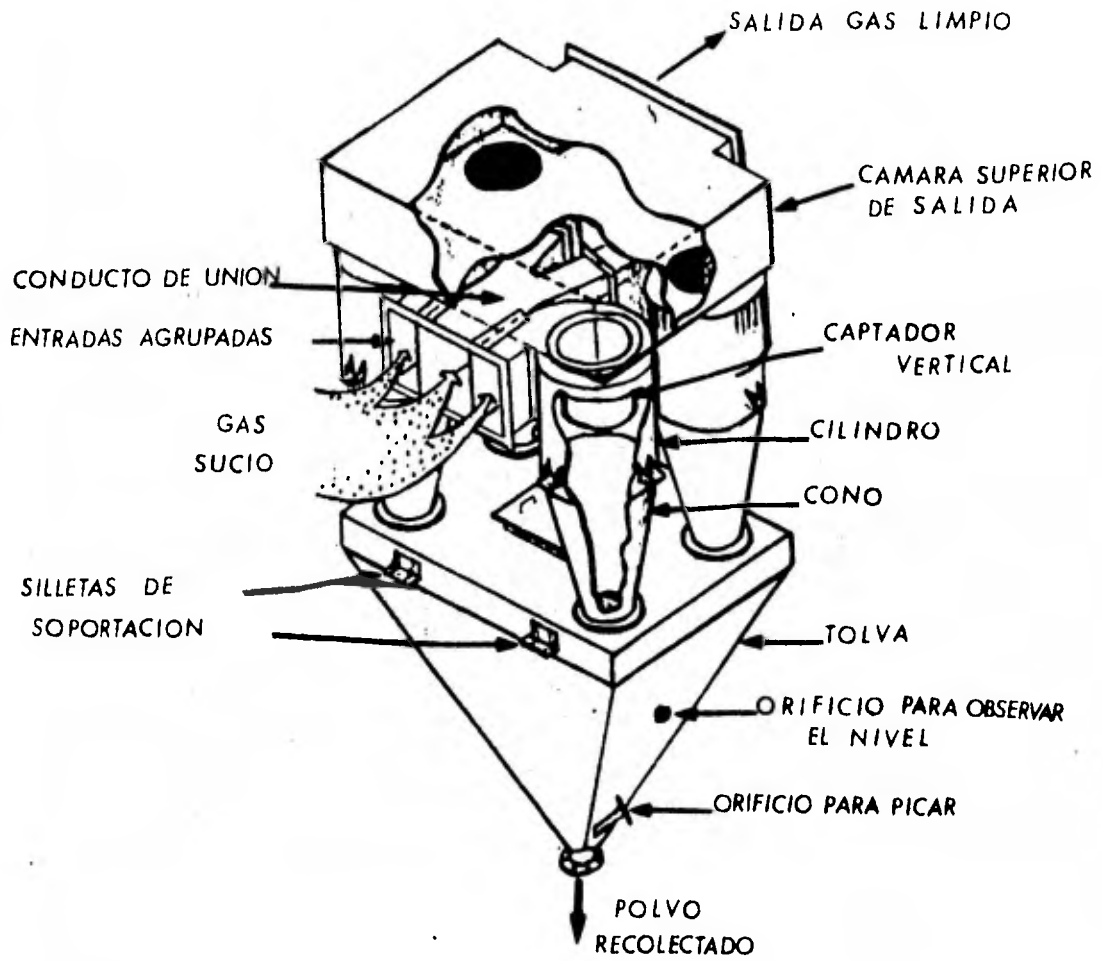


FIGURA 2.5

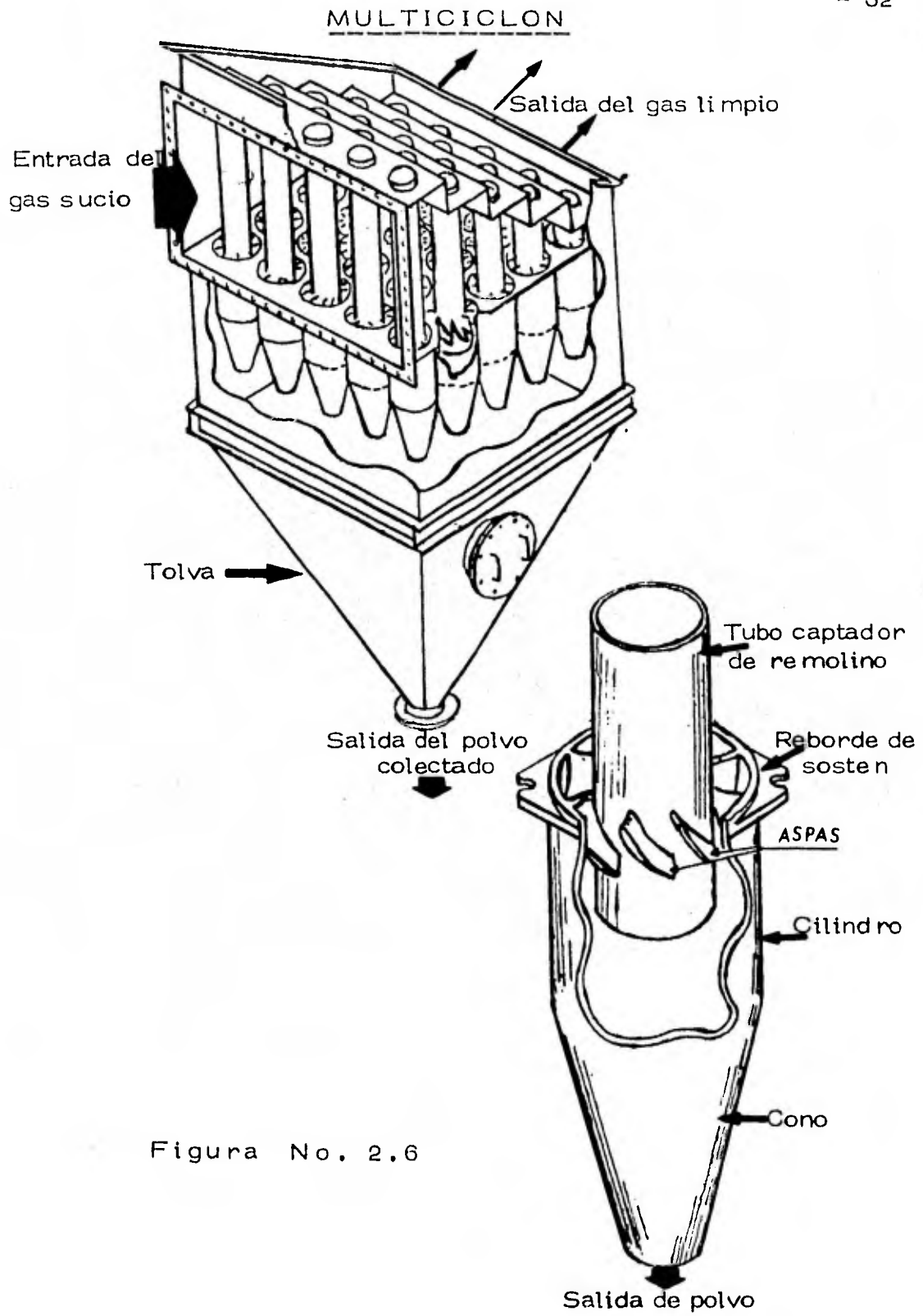


Figura No. 2.6

de uniformar la distribución del gas alrededor del interior del tubo, originando que el gas fluya a través de un número pequeño de entradas espaciadas uniformemente que en realidad son ciclones de poco diámetro, generalmente de 200 mm (9") o menor y en una cantidad que depende de los volúmenes de aire por manejar (puede pasar del centenar de tubos). Estos ciclones están diseñados en paralelo y descargan el polvo a una tolva común. Su separación está basada en la teoría de que a igual velocidad de los gases, los ciclones de menor diámetro ofrecen una eficiencia de colección mayor. La entrada de aire puede ser axial o tangencial y se hace por una sola abertura desde la cual se reparte uniformemente a todos los pequeños ciclones. Es más frecuente la entrada de tipo axial, por lo que generalmente se llaman de tipo axial. Su mayor ventaja es ser más eficiente que el tangencial. Otras especiales son: la ausencia de partes móviles, tener gran capacidad y ser relativamente pequeño; su desventaja es que si las condiciones de operación no han sido bien estudiadas, puede presentarse el problema de atascamiento en el interior de los ciclones. Dependiendo del material por coleccionar y de las condiciones de trabajo, puede captar partículas desde 5 micras. Como todos los colectores ciclónicos, el mult ciclón pierde eficiencia con los polvos finos. Otro factor importante en este tipo de colector axial de aspas es el número y forma de éstas, ya que imparten

giro a la corriente entrante del gas sucio. Cuando exista temperatura extrema, abrasión, polvos viscosos o pegajosos, el multiciclón es inapropiado, para tal caso, deberá usarse un ciclón. Los multiciclones se utilizan frecuentemente como prelimpiadores para aligerar la carga de un colector secundario, reduciendo mayor eficiencia y bajo costo total del sistema.

2.1.3 Filtros (Colector de bolsas).- El filtro de material tejido es uno de los colectores de más aplicación para la eliminación de partículas secas y sólidas de una corriente de aire o gases. El principio de trabajo de este tipo de colector consiste en hacer pasar cierto volumen de aire a cierta velocidad a través de una tela de fibra natural o sintética, que constituye el medio filtrante. El gas fluye por los poros de la tela dejando en su superficie una fina capa de polvo que aumenta la eficiencia de filtración, ya que forma una capa denominada " torta del filtro " que bloquea los intersticios más grandes y atrapa las partículas más finas. Cuando esta torta aumenta su espesor impide el paso del aire, por esto debe limpiarse periódicamente. La colección de partículas por filtración ocurre como resultado de uno o más de los siguientes mecanismos (estos también ocasionan la formación de la torta del filtro): a) impacto inercial, b) difusión a superficies de obstáculos, c) intercepción

directa, d) sedimentación gravitacional, e) separación eléctrica - (atribuible a las partículas o a un obstáculo de carga y polarización), f) cernido tosco por la tela, g) cernido fino por la capa de la torta de filtro.

De los mecanismos anteriormente mencionados, los más importantes son (Fig. 2.7):

a) Impacto inercial.- Es una consecuencia de la velocidad relativa entre la partícula y el fluido ya que al aproximarse al obstáculo inmerso, las corrientes de línea del fluido se aceleran y divergen al pasar alrededor del mismo. Una partícula suspendida en el fluido no puede ser acelerada y colocada inmediatamente en sus líneas de corriente y la diferencia de velocidades entre fluido y partícula se hace presente. La inercia tiende a mantener la dirección del movimiento de la partícula, mientras el fluido divergiendo tiende a arrastrarla a un lado. Subsecuentemente el movimiento de la partícula es el resultado de la proyección inercial y el arrastre del fluido. El impacto de grupo se define como:

$$(4) \quad I = 2mV/D_p f \quad ,$$

MECANISMOS DE FILTRACION

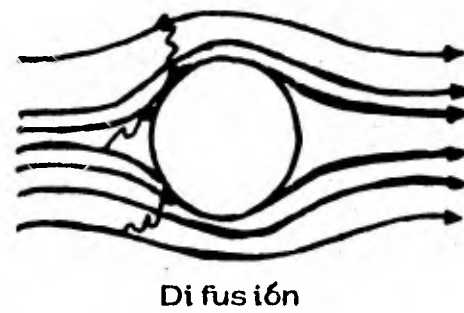
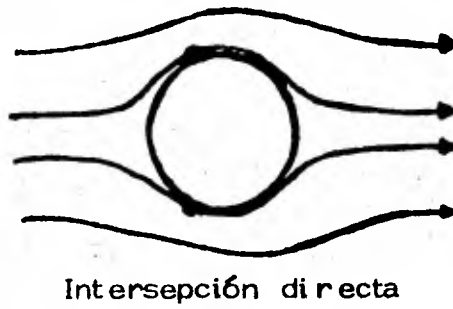
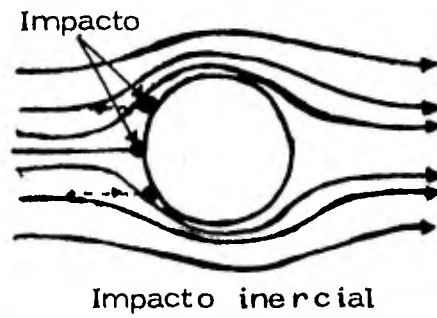


Figura 2.7

donde: m es la masa de la partícula,
 f es la resistencia del fluido al movimiento de la partícula por unidad de velocidad V ,
 D_p Diámetro de la partícula.

Para partículas esféricas pequeñas de diámetro D_p , la resistencia del fluido puede obtenerse por la aproximación de la Ley de Stokes como:

$$(5) \quad f = 3\pi\mu_f D_p / C_s$$

donde: μ_f es la viscosidad del fluido,
 C_s es el factor de corrección de (Cunningham-Millikan) lanzamiento de las partículas.

El parámetro de impacto para partículas esféricas pequeñas:

$$(6) \quad I = C_s \rho_p D_p^2 V / 9\mu_f D_o$$

donde: ρ_p es la densidad de la partícula,
 V es la velocidad del flujo sin disturbios, aproximándose al obstáculo, y
 D_o es el diámetro del obstáculo de colección.

b) Difusión a superficies de obstáculos.- Es resultado del

movimiento Browniano, importante para partículas pequeñas de baja -
velocidad. El transporte de partículas suspendidas en el flujo bajo -
los efectos combinados de difusión y movimiento del fluido, pueden de-
terminarse de la solución a la ecuación de difusión por convección. -
De consideraciones dimensionales, la solución puede estar en función
del número de Peclet, definido como:

$$(7) \quad P_e = D_0 V / D_{se}$$

donde: D_0 = al diámetro del objeto,

V = a la velocidad del flujo sin ^{o sin} disturbios,

$D_{se} = kTC_s / 3\pi\mu_f D_p$ es el coeficiente ^{coefi} de difu-
sión de la partícula (Stokes-Einstein ^{Stokes}).

El número de Peclet es el parámetro ^{caract.} característico para
la magnitud ^{y difusi} relativa de los efectos de convección y difusión en el -
transporte de la partícula.

c) Intercepción directa o el contacto ^{de una línea} de una línea de corrien-
te con una superficie en el flujo, presentándose como una ^{o como una} consecuen-
cia del tamaño de la partícula. Si una partícula de cierta medida ^{de cierta medid} pasa
cerca de un obstáculo como resultado de difusión, ^{in. inercia} inercia o por el mo-
vimiento mismo del fluido, puede ser capturada ^{solo si el centro} solo si el centro de la

partícula pasa sobre la superficie del obstáculo a una distancia (a_p) igual al radio de la partícula a capturar.

— Medios Filtrantes.- Los medios filtrantes pueden arreglarse en forma de tubo o bolsa y periódicamente deben limpiarse del material que colectan. El método y frecuencia de limpieza depende del tipo de bolsa y otros factores.

Los dos tipos básicos de medios filtrantes son: las telas tejidas, filtros esencialmente de superficie y los fieltros, filtros de profundidad.

Las mallas de telas tejidas relativamente abiertas, no previenen que el polvo pase a través de las bolsas filtrantes durante el inicio de la operación del colector; sin embargo, cuando la bolsa filtrante se satura con el material que está colectando, se obtienen altas eficiencias de colección. Los niveles normales de operación de colectores que utilizan telas tejidas como medio filtrante, bajo condiciones continuas de operación, fluctúa de 500 cm^3 por segundo (1 pie³ por minuto) por 900 cm^2 de área (por pie² de área), de filtrado a 1400 cm^3 por segundo (3 pies³ por minuto) por 900 cm^2 (por pie²) de área de filtrado y con presiones diferenciales a través del filtro de

7.5 cm a 12.5 cm columna de agua. Las eficiencias de colección que se pueden obtener son muy altas y posteriormente se definirá la eficiencia.

La alta eficiencia de colección obtenida en los fieltros, no depende del polvo depositado en las bolsas como en las telas tejidas, sino de la disposición densa de sus fibras. Las partículas de polvo - aún en tamaño submicrónico no penetran en el fieltro considerablemente, facilitando así su remoción.

Con el fieltro como medio filtrante, el flujo normal de gas fluye alrededor de las fibras, en vez de introducirse directamente a través de la tela, facilitando que el polvo se adhiera a ellas, por esto, desde el arranque del colector se alcanzan altas eficiencias de colección. La resistencia de los fieltros al flujo durante los ciclos de filtrado y limpieza, es baja comparada con la de telas tejidas o con la resistencia causada por la acumulación de polvo en las mismas. Consecuentemente se obtendrán niveles de operación más elevados que fluctúan de 1.2 a 4.5 m³ por minuto por m² de área con caídas de presión a través del filtro que varía de 7.5 a 15.5 cm de columna de agua.

Otra diferencia importante entre los filtros de tela tejida y el fieltro, es que las telas tejidas son sensibles en mayor grado a la carga de polvo que los fieltros. Los tipos de fieltro más comúnmente usados son:

Fieltro de Lana.- Para temperaturas hasta cerca de 85°C, buena resistencia a los ácidos y a la abrasión; pobre a los álcalis; debe limpiarse en seco.

Fieltro acrílico (Orlón).- Temperatura máxima aproximada de 130°C, resistencia excelente a los ácidos, no le afectan la mayoría de los solventes, buena resistencia a la abrasión, moderada a los álcalis; altas concentraciones de ácido sulfúrico disuelven el fieltro, también lo daña la anilina, formol, glicoxal, piridina. Sus bolsas son lavables con detergente suave y agua a la temperatura ambiente.

Fieltro de Nylon.- Su temperatura máxima de operación es de 95°C, la resistencia a los ácidos es pobre, buena a los álcalis, es una de las fibras sintéticas disponibles más resistentes a la abrasión y la oxidación; virtualmente no se afecta por la absorción de humedad y tiene buena elasticidad. Las bolsas pueden lavarse con agua y detergente suave a temperatura ambiente.

Filtro de Teflón.- Resiste temperaturas de 220°C aproximadamente, tiene excepcional resistencia a la mayoría de los productos químicos, sus propiedades antiadherentes son excelentes, frecuentemente es usado para colección de ceniza de carbón; se recomienda para aplicaciones consideradas como severas para otros filtros. No se afectan con el agua y puede lavarse con detergente suave a temperatura ambiente.

Filtro de Nomex.- Opera a temperaturas de hasta 220°C aproximadamente, resistencia superior a la abrasión, buena a los ácidos en aplicaciones arriba del punto de rocío del ácido así como a los álcalis. Ofrece excelentes propiedades de flexibilidad y manejo. Las bolsas pueden lavarse con agua y detergente suave a temperatura ambiente.

Tela de Fibra de Vidrio.- Como medio filtrante ofrece grandes ventajas; acepta altas temperaturas, tiene excelente resistencia al ácido, no se deforma; la fragilidad física y su costo elevado son sus desventajas, ya que al maltratarse por el trabajo, las fibras de la bolsa tienden a rasgarse. La temperatura de operación es lo que finalmente las limita. En su fabricación reciben aplicaciones de lubricantes para prevenirlas de su fragilidad.

— Clasificación de los Colectores de Bolsas.- En cuanto a su trabajo, los colectores de bolsas están divididos en: automáticos (su capacidad de operación es continua) e intermitentes (su capacidad de operación no es continua).

El colector automáticamente continuo puede operar todo el día sin descanso, con un compartimento o sección adicional para efectuar el ciclo de limpieza, de forma que su capacidad de manejo para la cual se calculó, no se vea afectada.

El colector intermitente se limpia, después de que la unidad, ha dejado de filtrar, al final del trabajo diario. Cuando están en servicio no pueden limpiarse y por eso están limitados a bajas cargas de polvo o a una operación poco frecuente.

El filtrado en un colector de bolsas, incluye dos posibilidades: a) filtrado con baja relación aire-tela (70 m/h) que filtra por dentro de la bolsa, y b) filtrado con alta relación aire-tela (120-180 m/h) que filtra por fuera de la bolsa.

a) Colector con baja relación aire-tela.- Las bolsas están soportadas por un dispositivo tensador en la parte superior y por

la inferior están atadas a una celda de la lámina que se encuentra abajo de ellas. Los gases cargados de partículas entran al colector por debajo de la lámina con celdas (cuya área abarca a la tolva), pasan a través de ellas de dentro hacia afuera. Los gases fluyen entre las bolsas y abandonan el compartimento por la parte de arriba. Así todas las partículas del gas, son forzadas a pasar a través de las bolsas por una entrada de sección circular relativamente pequeña. La geometría de entrada en la parte interna del colector, limita la velocidad excesiva del aire que entra, ya que reduciría la vida de la bolsa; para minimizar el riesgo de desgaste en esa parte de las bolsas, están equipadas con dedales de acero que las protege contra la abrasión (Fig. 2.8).

b) Colector de bolsas con alta relación aire-tela.- En este tipo de colector el flujo gaseoso fluye de fuera hacia adentro de la bolsa. Las bolsas están cerradas por la parte inferior, los gases cargados de partículas se introducen por un lado de ellas y circulan alrededor de las mismas; cada una está sostenida por su parte interna con una jaula mecánica cuya primera función es la de protegerla de colapsos durante la filtración de los gases. Como el gas sucio pasa de fuera hacia dentro, el polvo se acumula por fuera de las bolsas; en la parte superior de éstas, se encuentra colocada una lámina

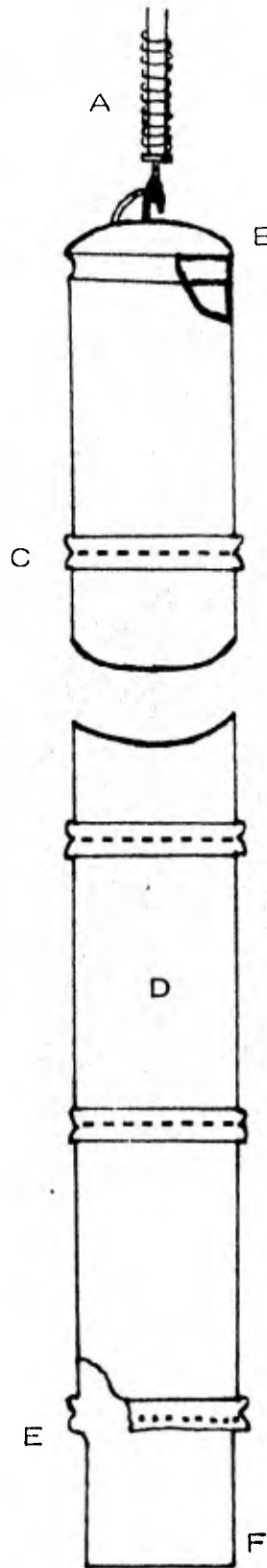


Figura 2.8

Figura 2.8

FILTROS DE BOLSAS

(detalle de una) Sacudido mecánico

- A Dispositivo tensionador de acero inoxidable que permite la instalación y tensionamiento de las bolsas sin necesidad de ninguna herramienta.
- B Las bolsas se arman sobre capuchas ya instaladas que ahorran tiempo y trabajo en la instalación.
- C Anillos anticlapso, protegen a las bolsas de aplastamientos o expansiones durante el ciclo de aire reverso.
- D Grafito y silicón o teflón son materiales que tienen ventaja sobre la fibra de vidrio. Para aplicaciones de recolección de ceniza de carbón, es recomendable el teflón por su mayor resistencia a los ácidos.
- E Dedal.- Su diseño permite una instalación de la bolsa, libre de amarraderas o herramientas de cualquier clase.
- F Para protección de raspado excesivo, pueden incluirse bajo el dedal, extensiones de tubos de lámina.

delgada que impide que el gas sucio se mezcle con el limpio (Fig. 2.9).

La geometría de entrada de los filtros de radio amplio ofrecen una gran sección de cruce para el flujo del gas sucio, que golpeará consecuentemente a baja velocidad inicial, permitiendo en cambio, un gran flujo por unidad de superficie de filtro; ésto no ocasiona que se excedan los límites de velocidad en donde la abrasión empieza a ser significativa. El gas abandona el interior de la bolsa por arriba, a relativa alta velocidad, pero en este punto el gas ya está limpio y no es abrasivo para las bolsas. Normalmente este colector utiliza el material tipo fieltro para soportar la presión de caída del sistema; este material permite que las partículas penetren más profundamente en él, por ésto se requiere de un método de limpieza más efectivo.

— Clasificación de sistemas de limpieza.- La limpieza de las bolsas puede hacerse por medio de: 1) Sacudido mecánico (mecanismos vibratorios), 2) aire inverso tomado del exterior, 3) aire comprimido.

1) Sacudido mecánico (mecanismos vibratorios).- Las -

FILTRADO POR LA PARTE INTERNA DE LA BOLSA

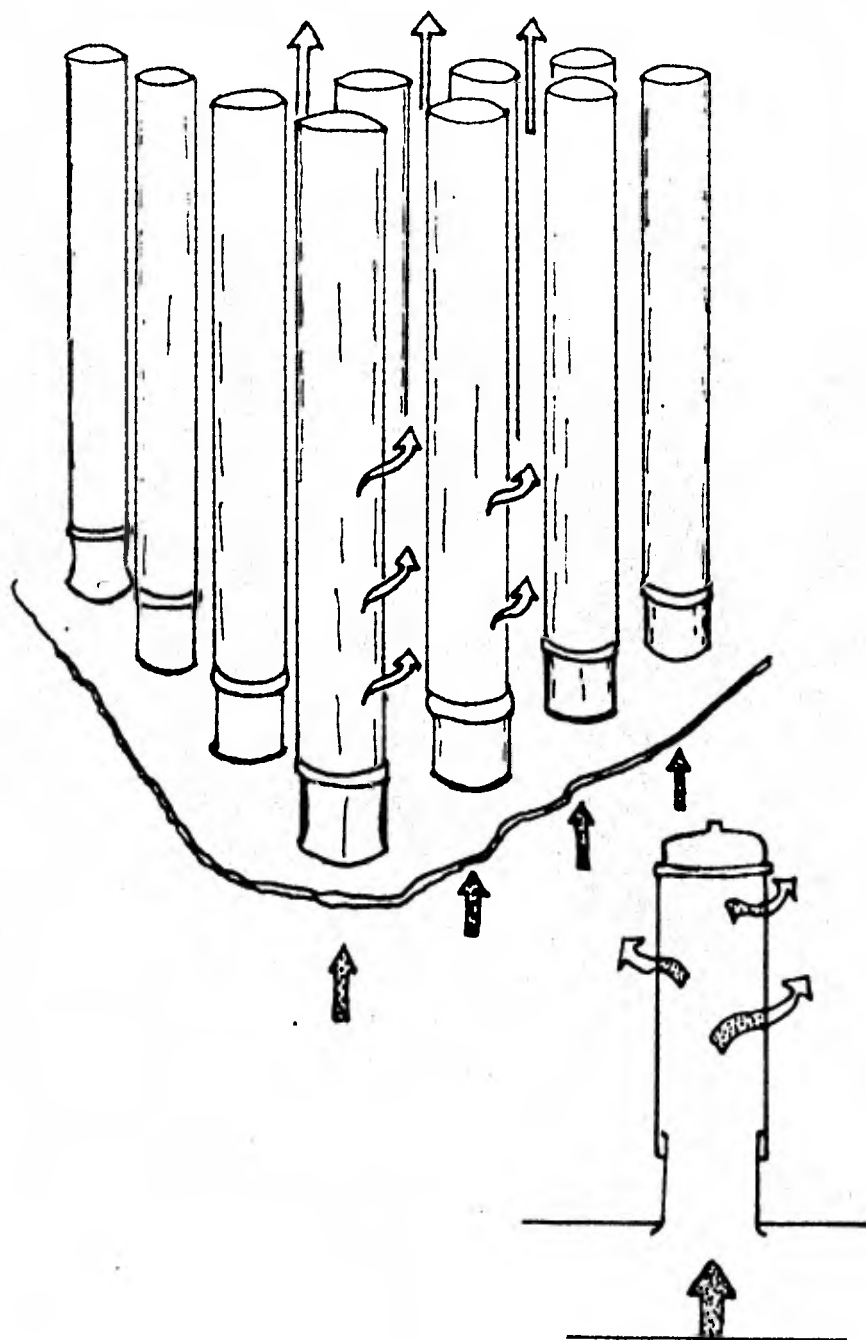


Figura 2.9a

FILTRADO POR LA PARTE EXTERNA DE LA BOLSA

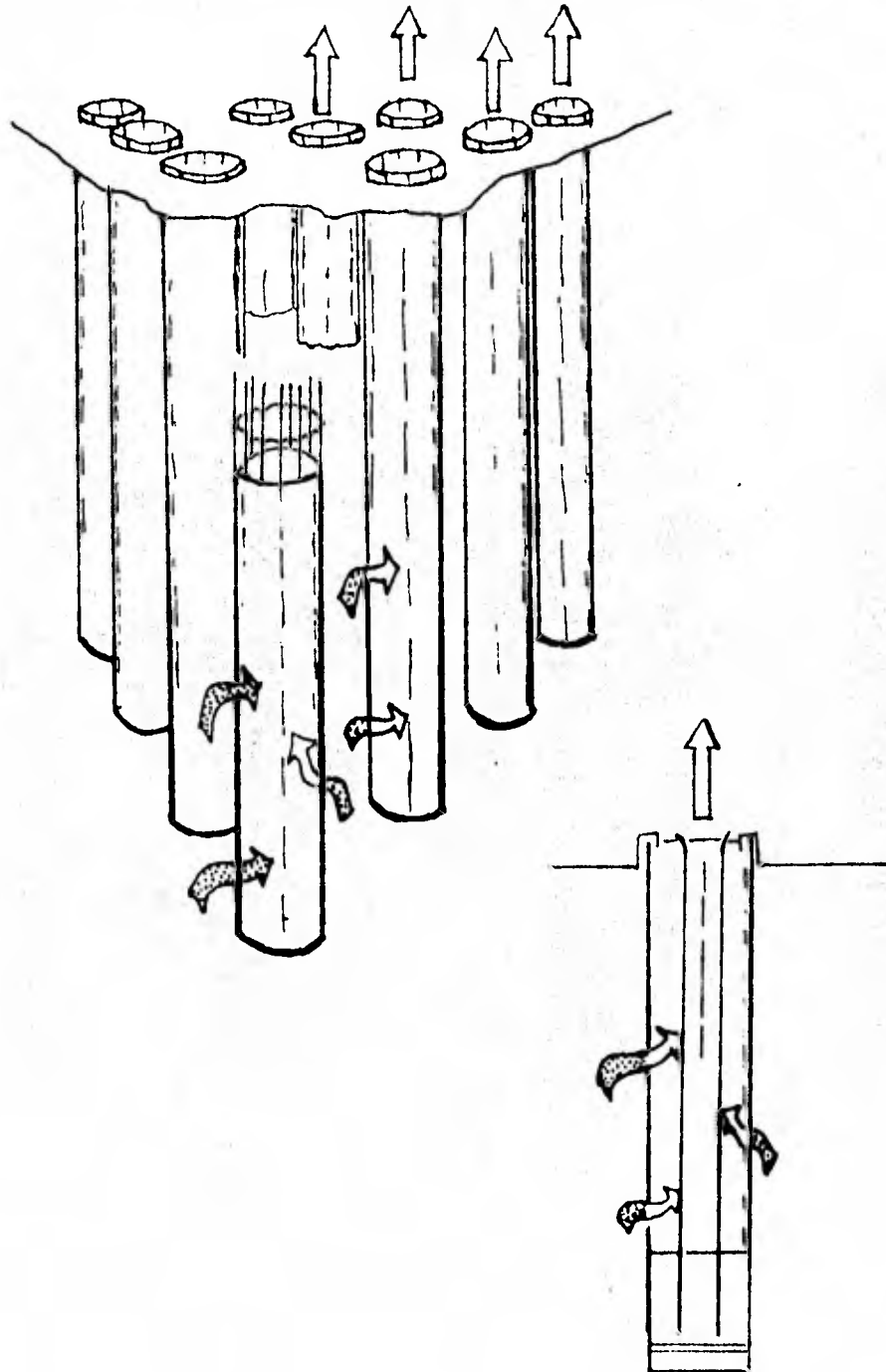


Figura 2.9b

bolsas de este tipo de sacudido están soportadas por un armazón que está libre para oscilar por medio de un pequeño motor eléctrico. - Para efectuar la limpieza en un filtro intermitente, la unidad debe desconectarse, ésto se realiza al final del ciclo de trabajo (Fig. -- 2.10). Para limpiar una unidad continuamente automática, existe una compuerta de cierre controlada por tiempo que aísla al compartimiento que se está sacudiendo durante un minuto aproximadamente, durante ese tiempo, se despega de las bolsas la plasta de polvo colectada y cae en una tolva situada en la parte baja del colector, de donde se remueve posteriormente, en seguida se abre la compuerta antes mencionada y la sección vuelve a funcionar. El colector debe ser dimensionado para permitir que por un momento, uno de los compartimientos se saque de línea para su limpieza, sin que exceda la presión de caída de todo el sistema .

2) Sacudido por flujo de aire inverso (Fig. 2.11).- El conjunto de filtros es seccionado y al igual que en el filtro continuamente automático, unas compuertas lo aíslan periódicamente, a la vez que se abre otra compuerta auxiliar, forzando la entrada de aire a través de las bolsas en dirección opuesta a la del aire por filtrar; la acción del flujo de aire inverso contrae la bolsa fracturando la capa de polvo, precipitándola en la tolva. Tal procedimiento pue-

COLECTOR CON SACUDIDO MECANICO

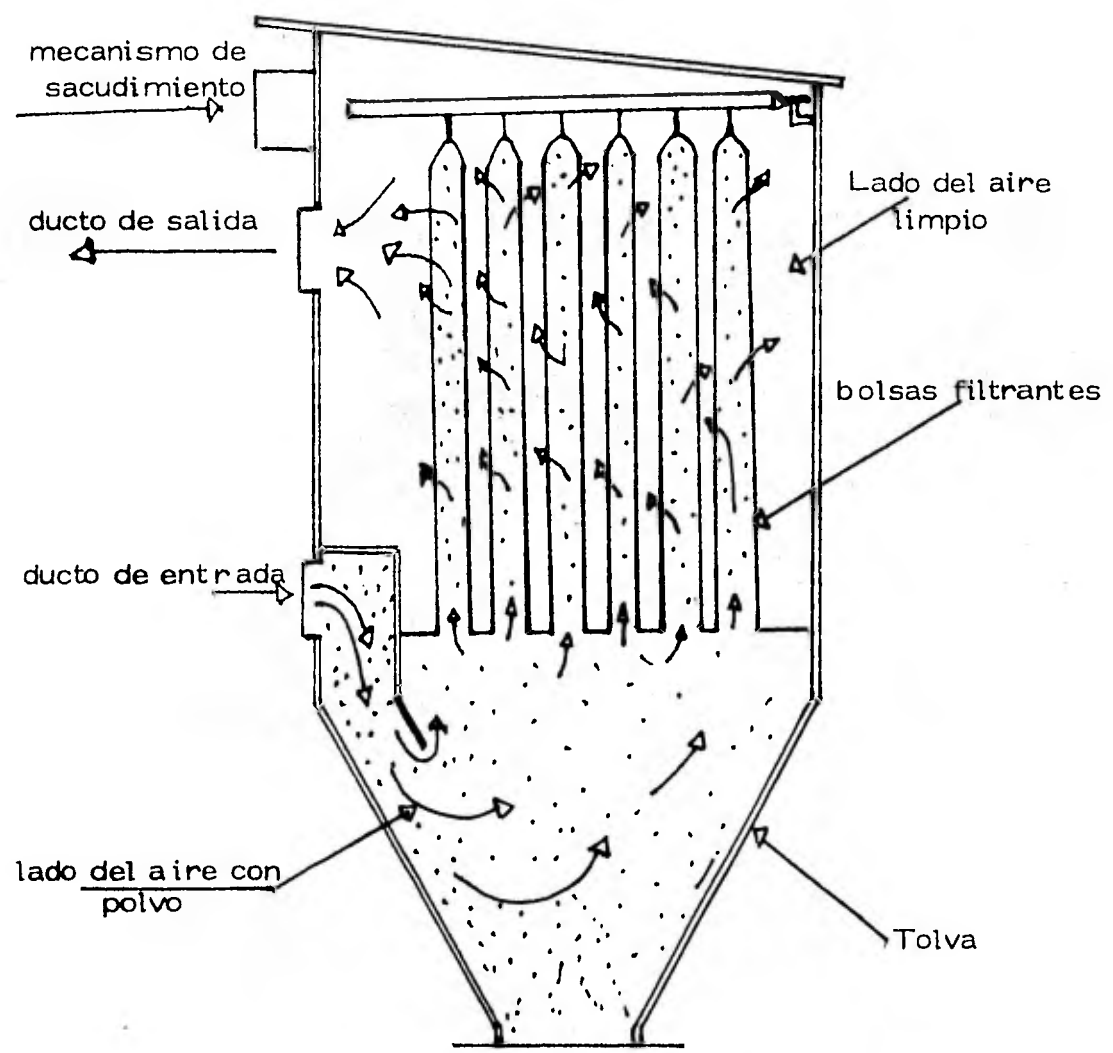


Figura 2.10

COLECTOR TIPO AIRE REVERSIBLE

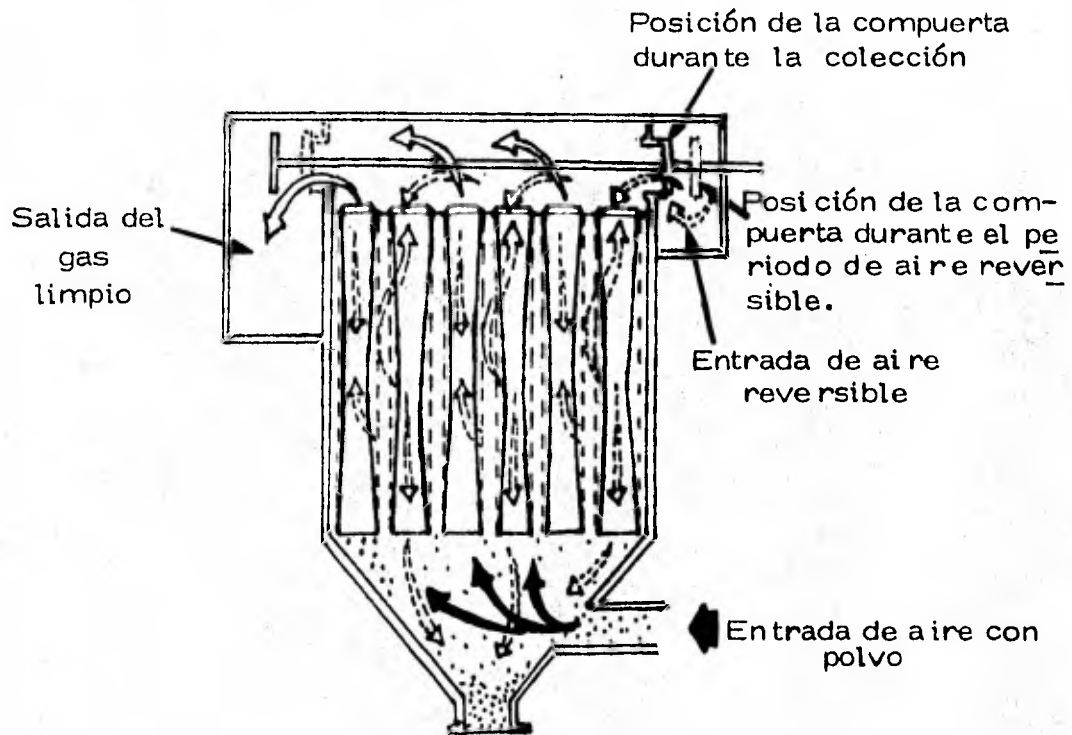


Figura 2.11

de repetirse varias veces durante los dos o tres minutos del ciclo de limpieza. Este sacudido se utiliza también en los colectores con filtrado por la parte interna de la bolsa.

3) Sacudido neumático (Fig. 2.12).- Consiste en un pequeño pulso de aire comprimido enviado a través de un Venturi que recorre la bolsa de arriba hacia abajo. Este pulso primario más el aire que sale se suman y la masa de aire resultante, expande a la bolsa violentamente, alejándola de la jaula que la sostiene, sacudiendo así la capa de polvo colectado. La presión en los tanques suministradores de aire para la limpieza es de cinco a siete atmósferas y la operación está controlada por una válvula colocada después de éstos. La eficiencia del Venturi es relativamente baja, ocasionando una significativa pérdida de potencia, ya que al dirigirse hacia abajo de la bolsa, el pulso pierde su potencia limpiadora en forma más o menos rápida. Por lo anterior no es suficiente este tipo de sacudido para limpiar - bolsas de longitudes extensas, limitando así su empleo. No se requiere seccionar al colector pues el pulso de aire comprimido detiene el flujo de aire que se va a filtrar y esto sucede simultáneamente en cada bolsa. También puede ser seccionado dependiendo de factores como el tipo de filtrante, aplicaciones y principios de diseño básico utilizados. Este tipo de limpieza se emplea en colectores con filtra

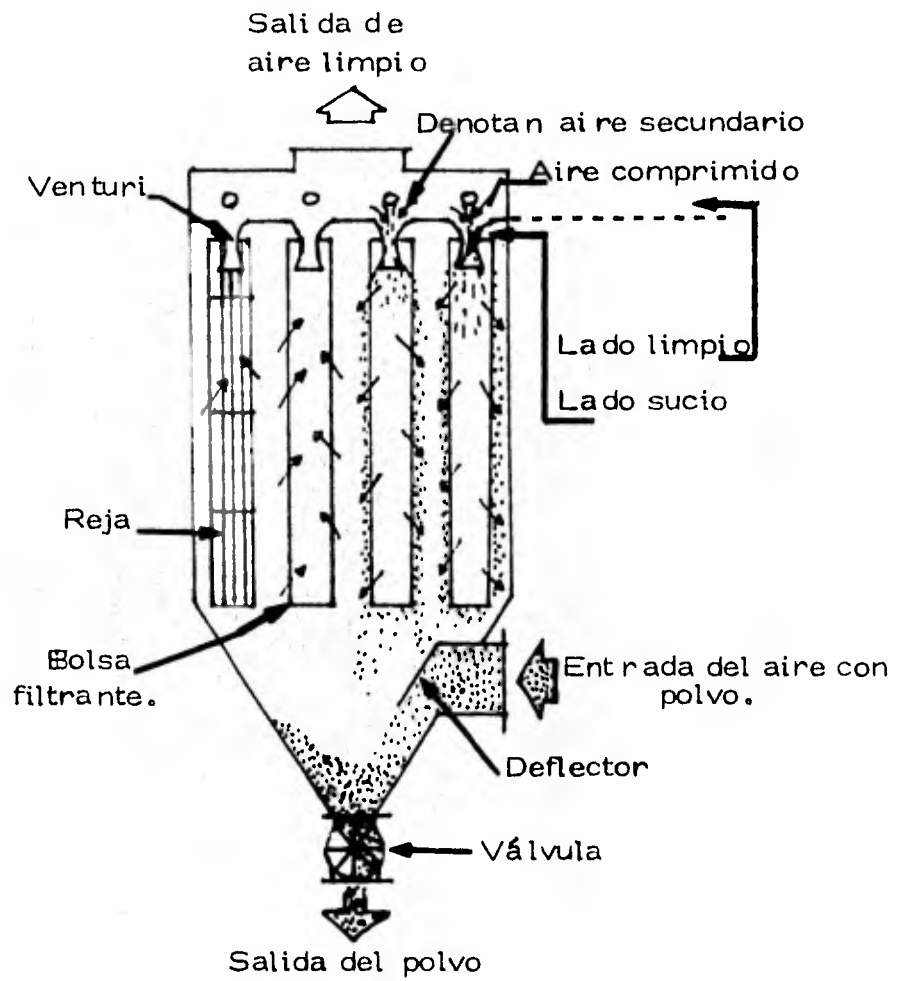


Figura 2.12

do de fuera hacia dentro de la bolsa.

Los tipos de sacudido mencionados anteriormente, pueden combinarse de diferentes formas, proporcionando así a cada sistema el más adecuado.

Un colector con filtrado por el interior o exterior de la bolsa estará dividido en un número de compartimientos con entrada y salida común. La limpieza de la bolsa se puede efectuar con todos los compartimientos en operación o sacando temporalmente de funcionamiento a cada uno de ellos según el tipo de sacudido que se emplee, (Fig. 2.13).

— Mantenimiento.- El mantenimiento en los filtros de bolsas se llevará a cabo al detectarse alguna falla por medio de un sistema de sensores; posteriormente se determinará el compartimiento (en caso de tener ese diseño) en el que se localiza la averfa y se procederá a aislar la entrada y salida de dicho compartimiento durante el tiempo necesario para efectuar la reparación.

Colector con baja relación aire-tela.- Como se dijo anteriormente este colector efectúa el filtrado de dentro hacia afuera. Para

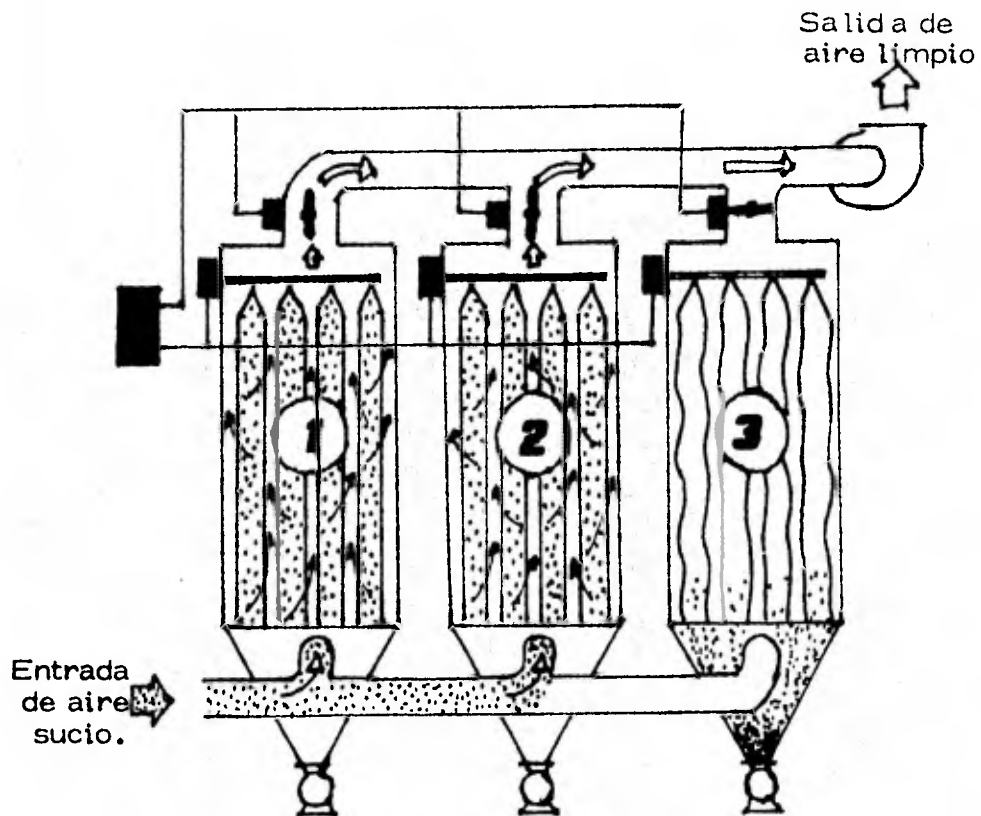


Figura 2.13.- Equipos 1 y 2 filtran mientras 3 se sacude.

proporcionar mantenimiento a estos colectores será necesario esperar un tiempo para que el compartimiento dañado (no todos se diseñan por compartimientos) se ventile y al disminuir su temperatura se reduzca la concentración de gas, de manera que se pueda trabajar dentro de él aceptablemente. Posteriormente se localiza la bolsa defectuosa, se retira y después de sustituirla el compartimiento queda listo para regresar a la línea.

Colector con alta relación aire-tela.- Como ya se indicó, - este colector realiza el filtrado de fuera hacia dentro. En este caso, solo se requiere que el compartimiento sea aislado por medio de las compuertas, después de esto se cambia la bolsa y se pone en línea a la unidad.

Definición de la Eficiencia.- La eficiencia de colección en un filtro se define como:

$$(8) \text{ Eficiencia} = 1 - \frac{\text{concentración de polvos a la salida}}{\text{concentración de polvos a la entrada}} = 1 - \text{penetración}$$

— Ventajas de los Equipos de Filtrado:

- El aire de salida del filtro puede ser recirculado dentro de la planta en muchos casos.
- La materia colectada se recupera seca para procesarse nuevamente o disponer de ella.
- No existen problemas por pérdida de líquido empleado, contaminación de agua o congelación.
- Generalmente no es problema la corrosión y el enmohecimiento de las partes metálicas pues con recubrimientos apropiados y de bajo costo, se puede controlar adecuadamente este problema.
- No hay problema de alto voltaje, simplificando su mantenimiento, reparación y permitiendo la colección de polvos inflamables, ya que las bolsas se aterrizan evitando así las cargas estáticas que provocan chispas.
- El uso de fibras especiales o filtros granulares adicionales, permiten una alta eficiencia de colección de humos submicrónicos y contaminantes gaseosos.
- Los colectores de filtros están disponibles en gran variedad de modelos, adaptables a los requerimientos de cada aplicación.

— Desventajas de los Equipos de Filtrado:

- La vida del filtro puede reducirse debido a la presencia de partículas ácidas, álcalis o gases que los contengan, así como por temperatura elevada.
- Temperaturas que excedan de 260°C (500°F), requieren materiales especialmente resistentes y que aún están en etapa de desarrollo. Los existentes tienen costos de adquisición y/o reposición elevados.
- Materiales higroscópicos (propiedad de absorber y de exhalar la humedad). La condensación de la humedad y los materiales adhesivos pueden causar taponamiento de las fibras de los filtros, para disminuir esto, se requiere de aditivos especiales.
- Las concentraciones de ciertos polvos pueden representar peligro de explosión a causa de alguna chispa o flama accidental.

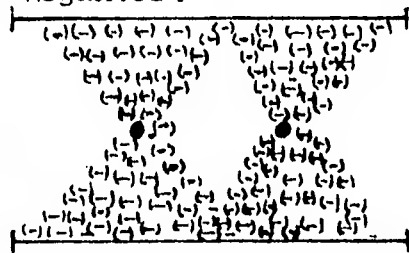
2.1.4 Preciptadores Electrostáticos.- La precipitación electrotática es probablemente el método más versátil de colección de polvo. Puede ser utilizado para coleccionar partículas submicronas, para separar partículas sólidas, líquidas o una mezcla de ambas. Opera sobre

un amplio rango de condiciones de entrada, temperatura, presión y carga de polvo. La pérdida de presión a través del precipitador electrostático, es insignificante. Este equipo combina alta eficiencia con bajos costos de operación y mantenimiento, aunque su costo inicial es el más elevado.

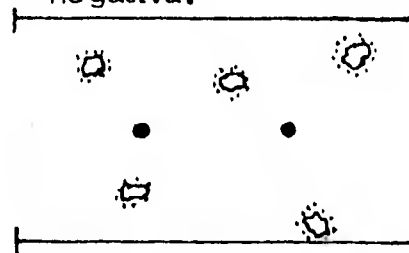
La precipitación electrostática utiliza la fuerza que actúa en partículas cargadas eléctricamente en la presencia de un campo eléctrico. Los gases sucios pasan a través de un intenso campo eléctrico colocado entre dos electrodos de polaridad opuesta. Al aplicar un alto voltaje a los electrodos de descarga, se favorece la formación del efecto corona mediante el cual se carga negativamente a las partículas, éstas son atraídas hacia los electrodos del colector, que son positivos con respecto a los electrodos de descarga y en la práctica están conectados a tierra. El proceso de precipitación electrostática puede ser considerado en los siguientes tres pasos básicos - (Fig. 2.14).

1.- Carga de partícula.- El polvo, vapor o neblina suspendida en los gases, se carga eléctricamente, a pesar de que las partículas suspendidas en un flujo de gas tienen normalmente una carga eléctrica de magnitud muy pequeña para una colección electrostática

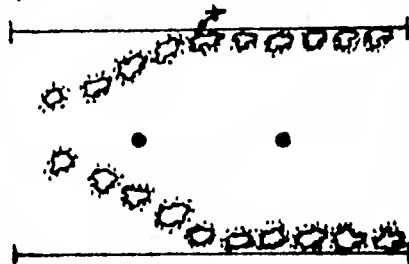
1. Flujo de iones de gas negativos.



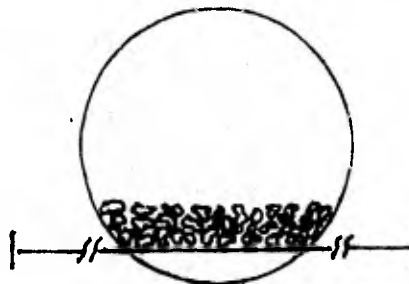
El polvo adquiere carga negativa.



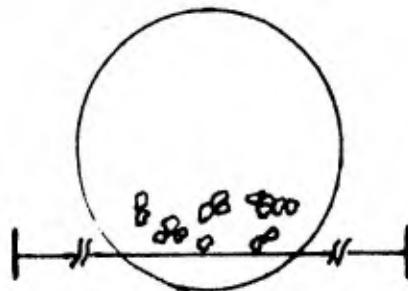
2. El polvo se precipita en las placas conectadas a tierra.



Se forma la capa de polvo



3. Capa de polvo desprendida del colector.



El polvo aglomerado cae en la tolva.

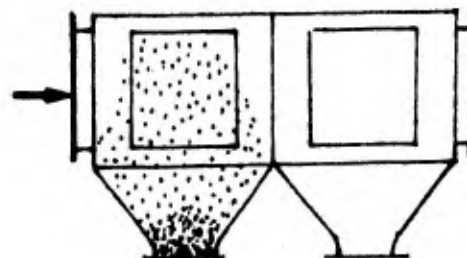


Figura 2.14

efectiva. Las partículas son ionizadas por el efecto corona de los alambres que llevan un potencial de corriente directa que va entre 10 KV a 80 KV. A medida que aumenta el diámetro del alambre de descarga, la tensión inicial para producir el efecto corona también aumenta. La densidad del gas modificada por temperatura y/o presión, afecta también la tensión de iniciación del efecto corona. Por lo tanto a mayor temperatura, menor voltaje inicial de la corona. Otra solución para aumentar la carga de las partículas es el uso de un precipitador de dos etapas, en donde la primera sección es usada para cargar las partículas y la segunda es de placas de colección.

2.- Colección de partícula.- El polvo cargado es pasado a través de un campo eléctrico en donde las fuerzas eléctricas ocasionan que la partícula emigre hacia la superficie colectoras; entonces el polvo es separado de los gases por retención en la superficie colectoras.

3.- Desalojamiento de las partículas.- El desalojo de las partículas colectadas de las superficies colectoras, es a través de tolvas y de allí hacia afuera del precipitador.

Para realizar las funciones básicas de carga de partícula, colección y desalojo, se emplean varias configuraciones físicas. Los principales tipos de precipitadores son de TUBO y de PLACAS (Fig. 2.15).

PRECIPITADORES TIPO TUBO.- Consisten de un número de tubos paralelos verticales o de secciones transversales llenas de perforaciones dentro de los que se encuentran alambres, suspendidos de aisladores. Los alambres están conectados al polo negativo del generador de alto voltaje. Los tubos que forman los electrodos de colección, están conectados al otro polo y aterrizados.

PRECIPITADORES DE PLACAS.- Utilizan placas verticales paralelas como electrodos de colección entre los cuales se encuentran dispuestos alambres de descarga. Las placas colectoras son lisas o con diversos perfiles para aplicaciones especiales.

Ambos tipos de precipitadores pueden emplearse para gases o mezclas, secas y húmedas. Frecuentemente, los de tipo tubo se emplean para líquidos y los de tipo placa para polvos secos. Dependiendo del uso al que sea destinado así como de las propiedades del gas, la cubierta de este tipo de colector puede ser de acero, de la dri

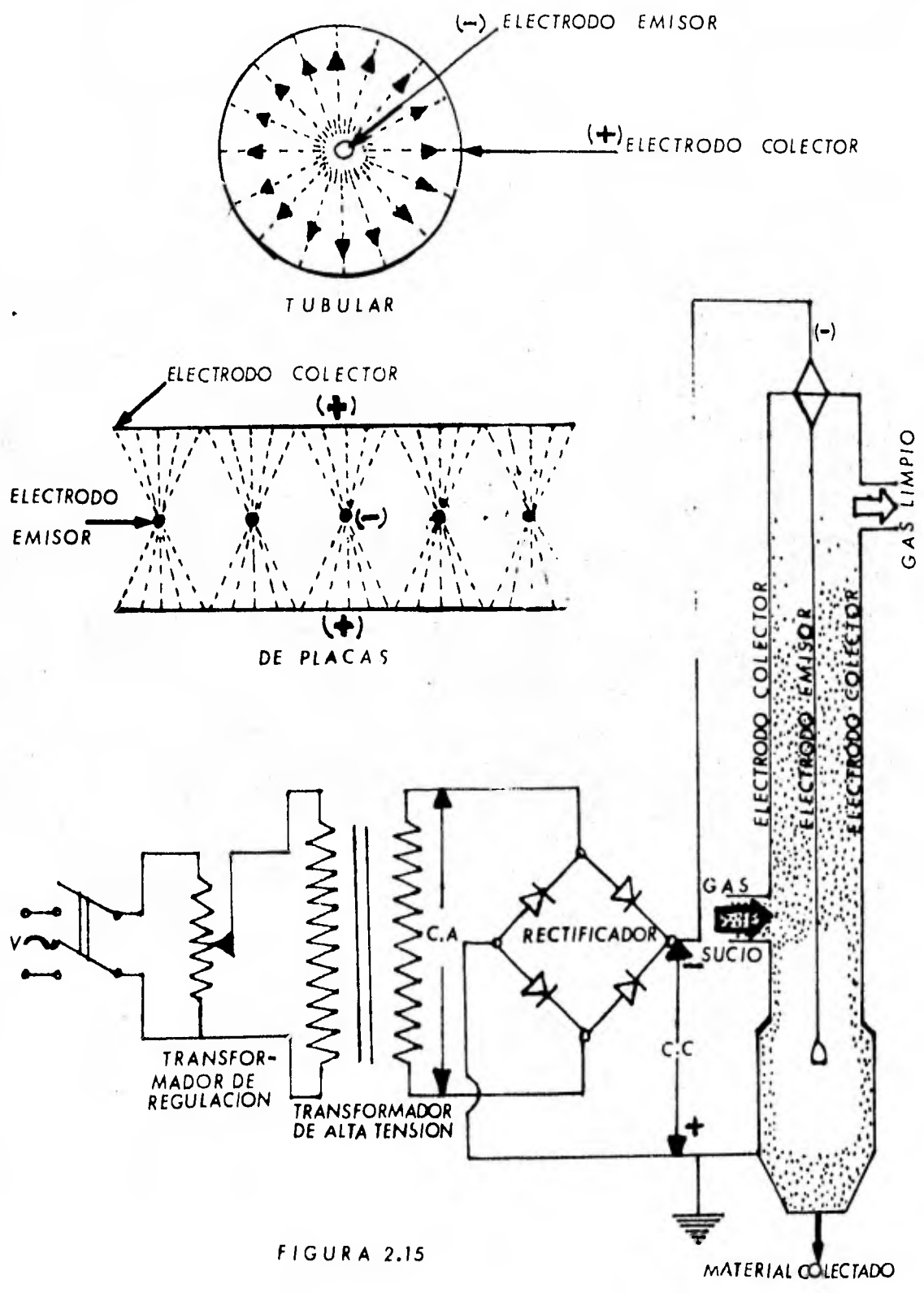


FIGURA 2.15

llo, de concreto o plástico.

El precipitador electrostático requiere de un conjunto de generación de alto voltaje que consiste de transformadores con sus subsecuentes rectificadores de selenio o recientemente de silicio.

La más alta eficiencia en la limpieza se obtiene cuando el valor medio del voltaje en el sistema de electrodos de precipitación está al más alto valor posible. El voltaje medio del electrodo varía con el flujo de corriente en el mismo. La emisión contaminante más baja de polvo corresponde al voltaje más alto en el electrodo, no a la máxima corriente que fluye por él.

Las fórmulas básicas en la precipitación electrostática son:

$$(9.a) \quad F_e = qE_p$$

donde: F_e = Fuerza Electrostática

q = Carga en la partícula

E_p = Intensidad del campo eléctrico

si q está limitando a la carga, entonces:

$$q = pE_c a^2$$

$$(9.b) \quad F = p E_c E_p a^2$$

donde: a = Radio de la partícula

E_c = Intensidad del campo de corona

p = Varía con las propiedades de la partícula, es 3 para conductores y varía de 1.3 - 3 para partícula de constante dieléctrica.

Movimiento de la partícula en un medio resistente - Ley de Stoke.

$$(9.c) \quad F = 6\pi a \mu w$$

μ = Viscosidad del gas

w = Velocidad de la partícula referida en el precipitador electrostático como velocidad de migración.

Así:

$$(9.d) \quad w = \frac{p E_c E_p a}{6\pi \mu}$$

Eficiencia de colección de polvos .

$$(9.e) \quad E = 1 - e^{-\lambda}$$

donde: E = Eficiencia de colección

e = exponencial

λ = depende de varios factores relacionados con el diseño del precipitador y de las propiedades físicas del polvo.

Ley de Deutsch

$$(9.f) \quad E = 1 - e^{(-AS/Q)}$$

A = Area de colección efectiva de los electrodos

S = Velocidad de migración efectiva

Q = Flujo promedio de gas

A continuación en la tabla 2.1.1 se muestra un resumen de los colectores secos y sus características.

TABLA 2.1.1
C O L E C T O R E S S E C O S

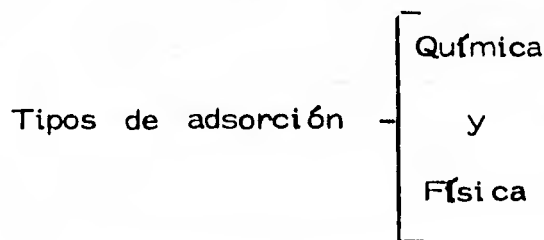
TIPO	Tamaño promedio de la partícula (u) para alta eficiencia.	Colecta gases	Carga de presión (pulg. C. A.) Kg/cm ²	Temperatura máxima en construcción estándar (OF) OC	Efectos por humedad en el aire.	Espacio requerido	Sensibilidad al cambio en el gasto (CFM) Presión ICTM=472 cm ³ /seg	Eficiencia
Bolsas	0.25	NO	.07612 - 0.2029 (3 - 8)	(180) 85	Condensación	grande	Prop. cfm	Insignificante
Centrífugo: Ciclón	20 - 40	NO	.0190 - 0.0381 (0.75 - 1.5)	(750) 400	y	grande	proporcional a: (cfm) ²	SI
Multiciclón	10 - 30	NO	0.07612-0.1522	(750) 400	Taponamiento	mediano		SI
Electrostático	0.25	normal- mente	0.0127 (0.5)	(500) 260	Mejora la eficiencia	grande	Insignificante	SI

NOTA: Depende del TIPO de material. Para el algodón es (180°F) 85°C aproximadamente.

2.2 Lavadores o Colectores Húmedos (gases, olores, vapores, humos y polvos).

El control de emisiones gaseosas puede efectuarse empleando alguno de los siguientes métodos: a) ADSORCION, b) ABSORCION.

a) ADSORCION.- Fenómeno en el cual las moléculas de un fluido se ponen en contacto y se adhieren a la superficie de un sólido. Por medio de este proceso, gases, líquidos o sólidos, aun en pequeñas concentraciones pueden separarse de sus corrientes con materiales específicos conocidos como adsorbentes. El material adsorbido se llama adsorbato.



Química.- Se producen enlaces químicos entre los átomos o moléculas superficiales del adsorbente y los átomos o moléculas adsorbidas. La regeneración del adsorbente rara vez es fácil.

Física.- Involucra generalmente la condensación de gases o vapores en los capilares de los adsorbentes. La regeneración se completa más fácilmente revaporizando los gases condensados.

Las etapas básicas de eliminación de contaminantes del aire por medio de la adsorción son:

- 1 Adsorción. Contacto del gas o vapor contaminante con el sólido adsorbente. Los factores que afectan la adsorción son: a) área superficial del adsorbente, b) afinidad del adsorbente por el adsorbato, c) sistema de temperatura y presión, d) grado de contacto entre el adsorbato y el adsorbente.
- 2 Desorción. Separación del gas adsorbido. Gases y vapores pueden ser desadsorbidos elevando la temperatura del adsorbente por arriba de la temperatura de ebullición del contaminante adsorbido.
- 3 Recuperación de los gases. Después de la desorción, los contaminantes volatilizados pueden condensarse. El material recuperado puede ser utilizado nuevamente.

El carbón activado es uno de los adsorbentes más usado, se puede obtener de la carbonización de la madera, la cáscara de coco y la turba. Los adsorbentes de carbón se emplean en la recuperación de solventes, en eliminación de olores y en purificación de gases. La humedad puede causar pérdidas en la capacidad de adsorción si excede del 50% de la corriente de aire. En el proceso de adsorción se evitan temperaturas mayores de 540°C (1000°F) porque pueden causar desorción, en cambio a medida que la temperatura decrece, la adsorción aumenta. Las columnas horizontales como la que se muestra en la Fig. 2.16 se emplean en la mayoría de las operaciones de adsorción, aunque también se emplean las torres convencionales con una, dos o tres secciones del adsorbente escogido.

b) ABSORCIÓN.- El proceso convencional de absorción se refiere al contacto íntimo de una mezcla de gases con un líquido, tal que uno o más de los constituyentes del gas se disuelven en el líquido. El efecto neto es el de la transferencia de una corriente de gas soluble en otra de líquido. El propósito del lavado del gas incluye la recuperación del producto o proceso de reacción así como la remoción del contaminante, o alguna combinación de éstos.

La absorción de un gas aplicado al control de contamina-

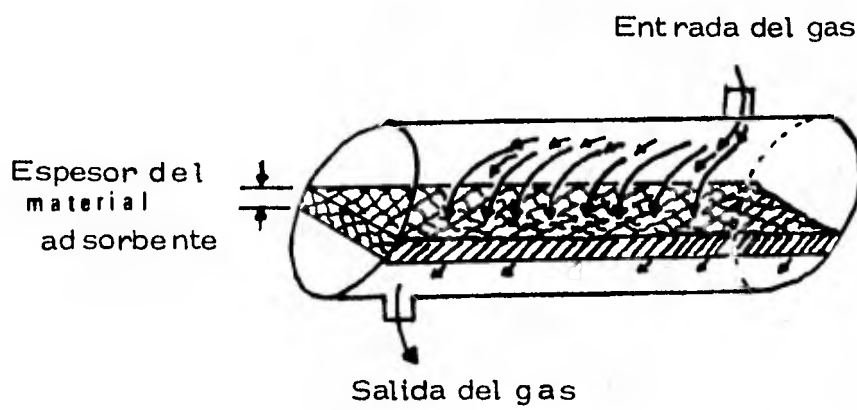


Figura 2.16

ción aérea se debe al interés de remover uno o más contaminantes de una corriente de gas, por medio de un líquido. La condición necesaria es la solubilidad de los contaminantes en el líquido que los absorberá. La absorción se basa en el proceso de difusión que se define como el movimiento de un componente individual a través de una mezcla bajo la influencia de estímulos físicos. La causa más común de difusión es un gradiente de concentración del componente que se está difundiendo. El gradiente tiende a moverse de tal forma que iguale la concentración y destruya el gradiente. La difusión puede resultar de una acción molecular solamente, o de una combinación de acciones moleculares o turbulentas. Los componentes del sistema de absorción son: absorbente líquido y un mecanismo para poner en contacto el gas cargado de contaminantes con el líquido absorbente. Los líquidos absorbentes se pueden clasificar como reactivos y no reactivos.

Reactivos.- Remueven al contaminante gaseoso por medio de una reacción química, transformando al contaminante a una forma menos dañina. Hay absorbentes regenerables y no regenerables.

No Reactivos.- Simples solventes que disuelven el vapor o lo liberan sin involucrar reacción química, el que con más frecuen

cia se usa, es el agua.

Las características deseables del absorbente son: volatilidad, viscosidad e inflamabilidad bajas, carentes de olor, no corrosivo, no tóxico y bajo costo. Los tipos principales de equipos de absorción son las torres empacadas, las de platos y diversas combinaciones de equipos que se verán más adelante.

Equipo de colección húmeda.- Algunos de estos equipos son eficientes separando gases y partículas simultáneamente, otros lo son con polvos y algunos con contaminantes gaseosos, nieblas y olores, ésto depende del diseño del colector así como el líquido lavador que se use. Los colectores húmedos pueden manejar gases a altas temperaturas y con elevado contenido de humedad, también son aconsejables para colección de polvos que presentan riesgo de explosión o fuego al estar secos, ya que este tipo de colector elimina o cuando menos reduce ese riesgo. Sin embargo, el uso de agua puede introducir condiciones corrosivas al colector. La desventaja de este equipo es el manejo de lodos que resultan del material contaminante colectado; aunque en los casos en que se opte por este equipo, será porque a pesar de ésto es el más adecuado a la solución del problema en cuestión.

Cuando se utiliza un líquido para eliminar partículas de una corriente gaseosa, se llevan a cabo principalmente los siguientes mecanismos:

1. Humidificación de las partículas por contacto con pequeñas gotas de líquido. Para humidificar la partícula, se seguirá el siguiente procedimiento:
 - 1.a Impacto con un atomizado: un rocío dirigido perpendicularmente a las trayectorias de las partículas de polvo, choca contra ellas con una eficiencia proporcional al número de pequeñas gotas y a la fuerza impartida a éstas.
 - 1.b Difusión: Se dispersan gotas de líquido entre partículas de polvo y por medio del movimiento Browniano, las partículas se depositan sobre las gotas. Este es el principal mecanismo en la colección de partículas submicronas.
 - 1.c Si se enfría un gas por debajo de su punto de rocío, cuando pasa a través de un lavador, en este caso la partícula actúa como un núcleo de condensación.

2. Impacto de partículas húmedas o secas sobre las superficies de colección, seguido de su separación de esas superficies por medio de un flujo de líquido. Mecanismos de impacto:
- 2.a Separación centrífuga: al penetrar en el vortice producido por el flujo de gases, las partículas son separadas por una fuerza centrífuga y dirigidas hacia las paredes del equipo produciéndose el impacto y son arrastradas por el líquido de lavado hacia el exterior.
- 2.b Impacto inercial; la inercia de la partícula provoca que ésta continúe en su trayectoria, esto permite el contacto de la partícula con el líquido. La partícula está bajo dos fuerzas principales, su propia fuerza inercial y la fuerza de arrastre ocasionada por el gas que gira (fuerzas tales como la gravitacional, eléctrica y magnética, son despreciadas). Como resultado de estas dos fuerzas, la partícula relativamente se para en la gotita; si la distancia a la que se detuvo x_s , es mayor a la distancia existente entre el punto donde abandona la corriente de línea y la gotita, el impacto resultará. El número de impacto se define como

la relación entre el radio de la distancia a la que se paró
la partícula x_s y el diámetro de la gotita d_g , quedando -
 como:

$$(10) \quad N_I = \frac{x_s}{d_g} = \frac{V_{p,0} d_p^2 \rho_p}{18 \mu_g d_g};$$

Donde: $V_{p,0}$ = Velocidad inicial relativa entre el
 gas y las gotitas

d_p = diámetro de la partícula

ρ_p = densidad de las partículas

μ_g = viscosidad del gas

d_g = diámetro de la gotita

Los equipos de colección húmeda pueden clasificarse en:
 torres de aspersión, torres empacadas, ciclones húmedos, colector
 húmedo tipo dinámico (rotoclón) y tipo venturi.

2.2.1 Torres de aspersión. - Este lavador elimina partículas -
 de polvo cuyo tamaño varía entre 2 y 10 micras. Los gases pasan a
 través de bancos de espumas colocadas en varias direcciones, tra--
 tando de provocar colisión entre las gotas del líquido lavador y las
 partículas sólidas de la corriente de gas. Existen muchas variacion

nes de este tipo de lavadores, pero en todas se involucran los dos pasos siguientes:

- a. Los gases contaminados se humidifican. Se hace cambiar de dirección bruscamente una o más veces la corriente de gas que lleva el contaminante, obligando a las partículas a chocar contra el líquido colector o con la superficie mojada (Fig. 2.17).

- b. Los gases se separan en varias corrientes, el líquido lavador es rociado sobre los gases a fin de ocasionar el choque con las partículas. En los separadores de inercia, los cambios de dirección se provocan por medio de mamparas, discos o platos que se localizan apropiadamente en el trayecto de la corriente gaseosa y la dispersión del líquido se logra atomizando directamente dentro de la corriente gaseosa.

2.2.2 Torres Empacadas.- Son el tipo de equipo más común para el control de contaminantes en gases para remover vapores, gases u olores indeseables. Tienen una mínima estructura compuesta por un recipiente vertical con una sección llena de empaque, los sopor

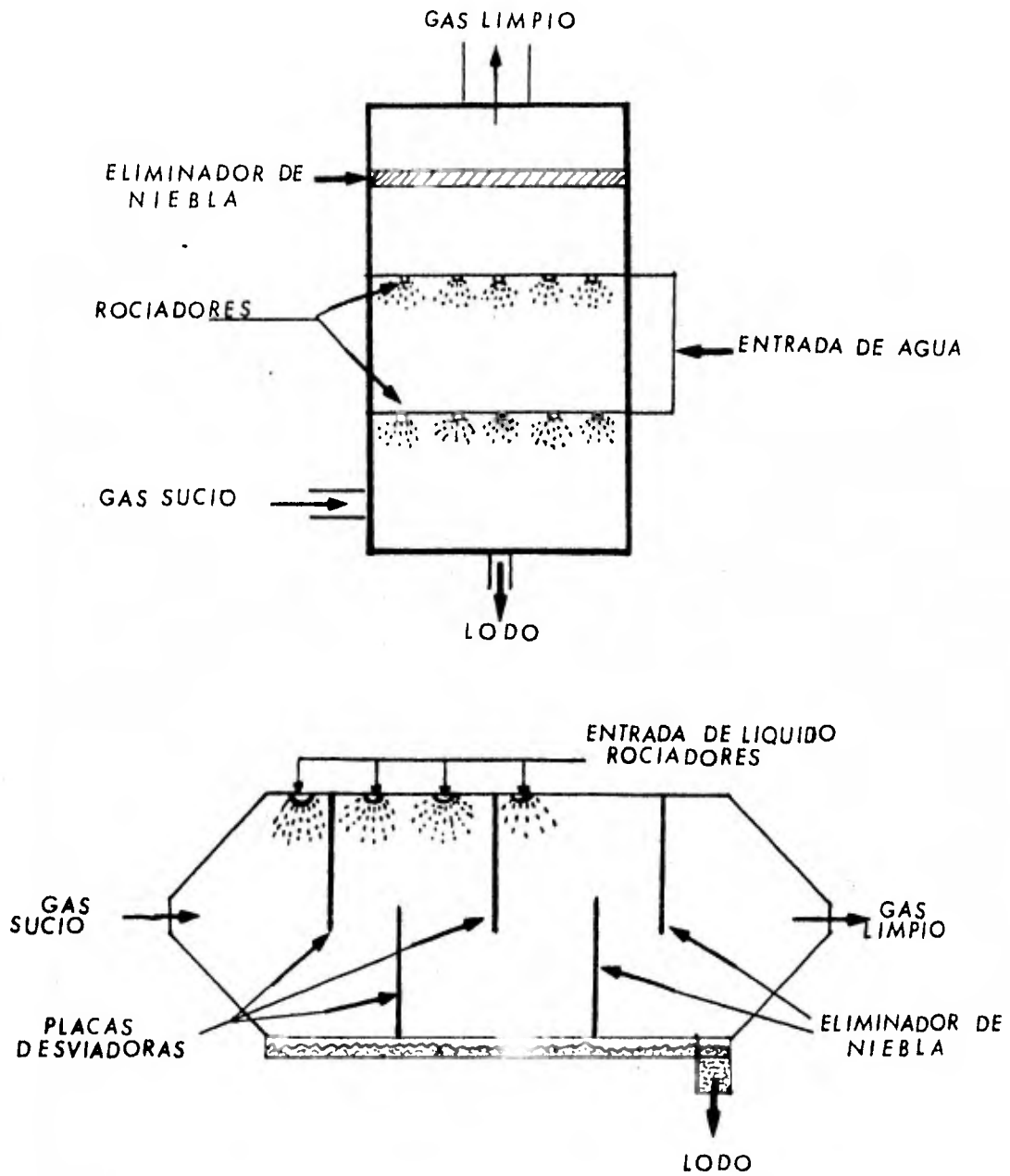
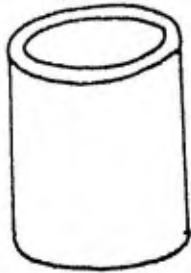


FIGURA 2.17

tes de éste y de un distribuidor de líquido que es rociado desde la parte superior de la torre. El empaque es el corazón de este equipo y puede ser de varios tipos, los convencionales son: silletas Berl e Intalox, los anillos Rasching, Pal, Tellerete; pueden ser de cerámica, metal, plástico, porcelana o carbón (Fig. 2.18). El espacio que ocupa el empaque se denomina " cama granular " y proporciona una gran area superficial de contacto por unidad de volumen.

Para escoger el tipo de empaque se deben considerar los siguientes puntos: durabilidad, resistencia a la corrosión y ser químicamente inerte al fluido procesado (Fig. 2.19).

2.2.3 Ciclones Húmedos.- En este tipo de colector se utiliza la fuerza centrífuga para separar partículas de polvo acelerándolas y estrellándolas en las superficies húmedas del colector. El líquido lavador se introduce por un cabezal central vertical, provisto de boquillas de atomización fina que distribuyen el líquido radialmente a través de la corriente gaseosa. Para que la separación tenga un alto grado de eficiencia, las boquillas requieren una presión mínima de 4 kg/cm^2 (60 libras por pulgada² manométricas PSIG) y no es raro que operen entre 8 y 14 kg/cm^2 (110 y 200 PSIG). En este tipo de colector húmedo es generalmente imposible recircular el líquido



Anillos Rasching



Anillos Pall



Tellerete (rosetas teller)



Sillets Berl



Sillets Intalox

Figura 2.18

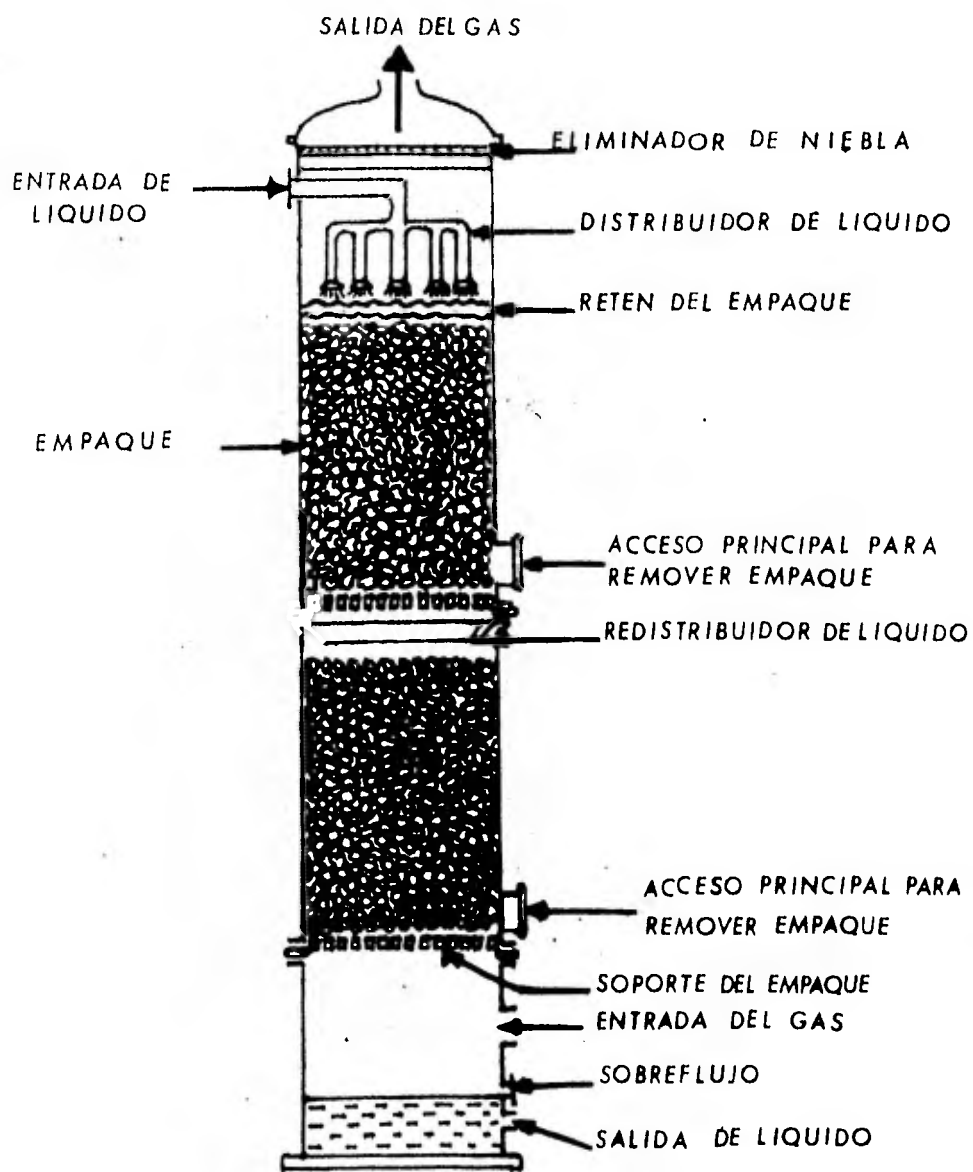


FIGURA 2.19

lavador, debido al desgaste o a la obstrucción que puede ocasionarse en las boquillas por el alto contenido de sólidos del líquido recirculado. Los ciclones húmedos se utilizan para manejar partículas de una micra o mayores, también para absorber gases muy solubles, obteniéndose eficiencias del 98 al 99 % en peso.

Algunas características de operación de estos equipos son:

Consumo de líquido: 650 - 700 l/min. por cada m³/min. de gas saturado. Este es el gasto promedio.

Presión del líquido: 3.5 - 10 kg/cm², la presión mayor se utiliza para colección de partículas de 1 micrón de diámetro.

Caida de presión: 25 - 100 mm columna de agua, dependiendo de la capacidad del equipo.

2.2.4 Colector Húmedo Tipo Dinámico o con Ventilador Húmedo

(Rotoclón) (Fig. 2.20).- Este tipo de colector cambia continuamente la dirección del flujo gaseoso. En ellos se combina el efecto lavador del agua con el principio de precipitación dinámica.

R O T O C L O N

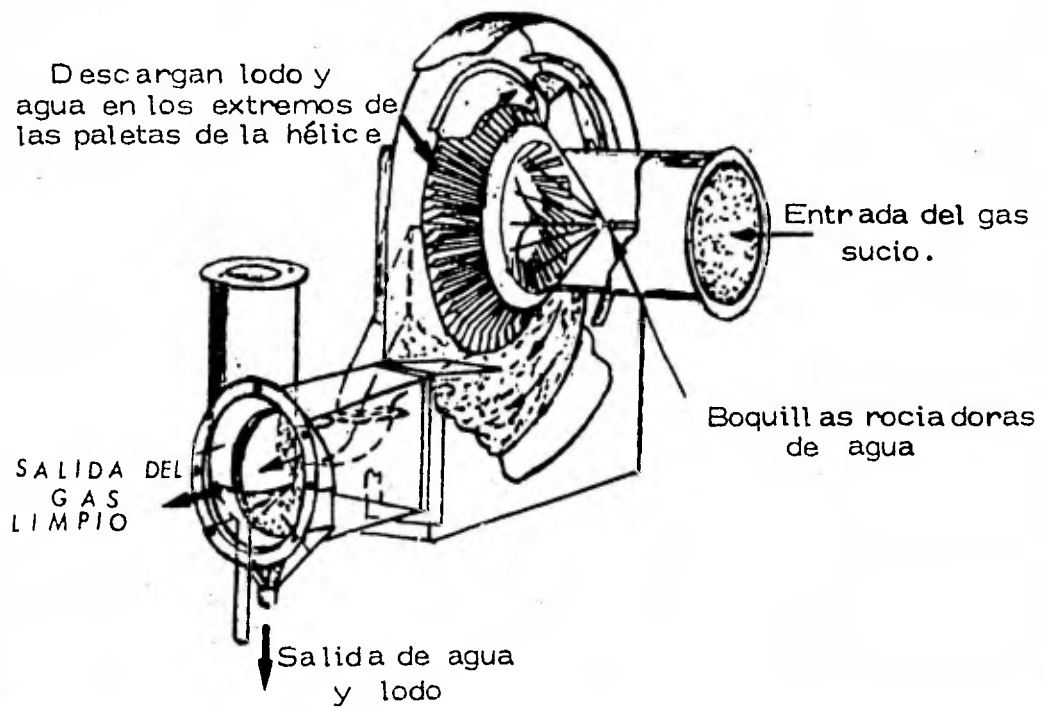


Figura 2.20

La energía se suministra mediante un ventilador centrífugo y el líquido lavador se introduce por medio de boquillas colocadas en dirección al flujo de gas contaminado, es decir, al centro de la entrada del ventilador. La cantidad de agua suministrada debe ser suficiente para compensar la pérdida por evaporación que se ocasiona por la transferencia que existe con los gases calientes y para recoger el polvo de las superficies internas del ventilador. Estas unidades fueron desarrolladas para lograr alta eficiencia de colección; al integrar el ventilador a la unidad, se asegura una autolimpieza del mismo, evitando problemas de incrustaciones en su interior. El colector descarga el material colectado en forma de lodo. Requiere un mínimo de agua, solamente 2 l (1/2 galón) a 4 l (1 galón) por 4720 l/seg (1000 PCM) de aire. La alta eficiencia se logra debido a la aceleración del gas, polvo y agua aproximadamente a 6096 cm/seg (200 pies/seg), dentro de la carcasa del ventilador.

2.2.5 Tipo Venturi (Fig. 2.21).- De todos los tipos de colectores húmedos, el tipo Venturi proporciona la más elevada eficiencia de colección para el rango más pequeño de partículas sólidas; es decir se aplica para partículas submicrónicas, por lo que en muchos casos requiere elevada caída de presión con altos consumos de energía. El principio de operación de este equipo se basa en la atomiza--

LAVADOR TIPO VENTURI

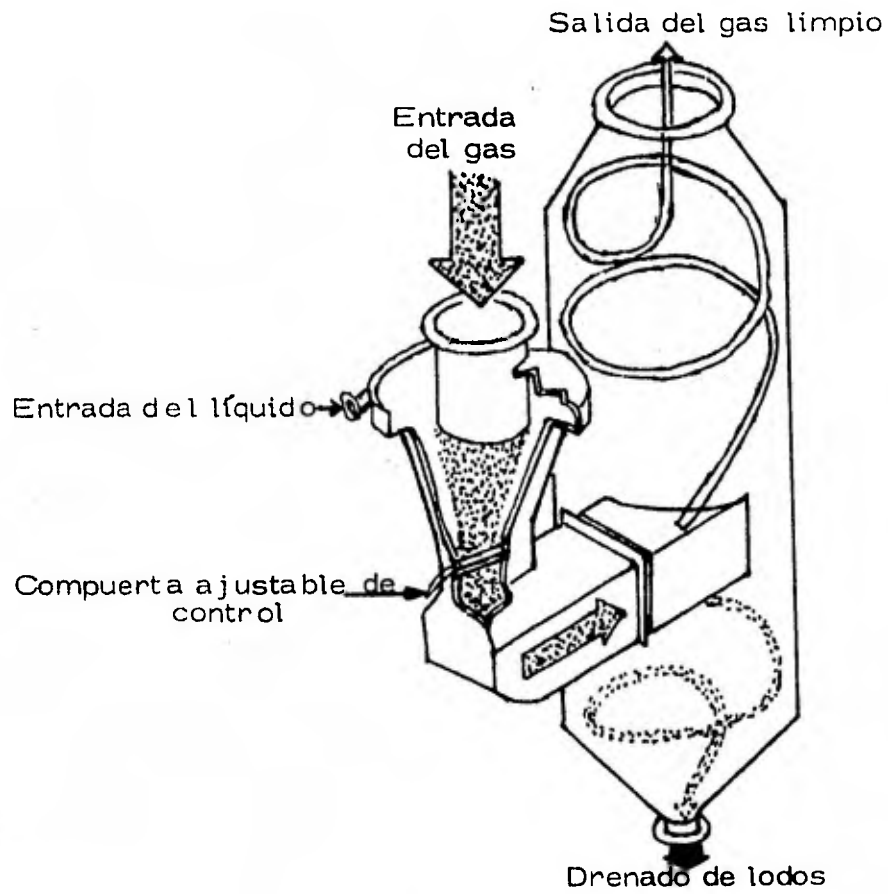


Figura 2.21

ción del líquido lavador, dentro de una zona de alta velocidad, empleando fuerzas cinéticas inducidas por medio de la aceleración de gases a la entrada de la garganta, formándose una succión para el líquido lavador hacia un orificio angosto. La aceleración produce turbulencia que favorece la formación de una mezcla homogénea entre el líquido, los gases y las partículas incrementando su masa. Como regla general se puede decir que es preferible utilizar un mayor consumo de agua de lavado que una alta velocidad del gas, para asegurar así que no haya ninguna zona seca en la garganta del Venturi. El líquido de lavado puede alimentarse por gravedad; cuando se tiene un sistema de recirculación se requiere de una bomba. En casi todas las instalaciones el líquido lavador es recirculado, necesitando además un tanque de asentamiento. Se recirculará una solución con un contenido máximo del 10% en peso del contaminante manejado.

El material de construcción de la sección Venturi debe ser resistente a problemas de abrasión que se presenten debido a las altas velocidades alcanzadas.

TABLA 2.2
COLECTORES HUMEDOS

CARACTERISTICAS	TORRE DE ESPREADO	CICLONICO	VENTURI	TORRE EMPACADA
Tamaño óptimo de partícula (micrones)	50	5	1	5
Límites de temperatura (°F) °C	4 - 370 (40 - 700)	4 - 370 (40 - 700)	4 - 370 (40 - 700)	4 - 370 (40 - 700)
Eficiencia de colección (Porcentaje en peso)	70	90	99	90
Requerimiento de espacio	mediano	mediano	pequeño	mediano
Contaminante coleccionado	líquido	líquido	líquido	líquido
Observaciones	tratamientos - p/la recupera- ción de agua.	posibilidad de columnas de humo visible	corrosión	es posible una alta temperatura de operación

CAPITULO 3
SELECCION DE EQUIPO.

El equipo de control de contaminación atmosférica se encuentra disponible en gran variedad de diseños, proporcionando así una amplia gama de efectividad, costos iniciales, de operación y mantenimiento, diversos tamaños que se ajustan al espacio del que se disponga además de materiales específicos para su construcción. Para seleccionar el equipo más conveniente, cuando no se tiene experiencia en solucionar problemas de contaminación, es recomendable consultar y mantener comunicación con el fabricante.

Al tratar de resolver el problema de adaptar el equipo necesario, se encontrará uno de los siguientes casos: **DISEÑAR** un sistema de control adecuado o **REVISAR** y **MODIFICAR** el sistema de control ya existente, pero que opera con muy baja eficiencia.

Cuando existe problema de contaminación se inicia un estudio de selección de equipo. El primer paso a seguir es evaluar todas las partes del proceso, localizando los puntos que causan emisiones, por ejemplo en el caso de polvos pueden ser bandas transportadoras, gusanos transportadores, cribas, elevadores de cangilones, molinos, silos, etc.

También se considerarán los siguientes factores:

- 1) Características particulares: tamaño de la partícula, forma, densidad, propiedades químicas y físicas tales como tendencia a la aglomeración e higroscopicidad, corrosividad, viscosidad, inflamabilidad, conductividad eléctrica, etc. En sistemas de extracción, los contaminantes abarcan un amplio rango en cargas y tamaño de partícula. El rango de concentraciones puede ir desde 0.24 hasta 48 o más gramos de polvo por m³ de aire. En sistemas de transporte a baja presión, el rango de las partículas es de 0.5 a 100 o más micras. Una idea del tamaño de las partículas así como del equipo que se puede aplicar en cada caso, se ilustra en la tabla 3.1.

- 2) Características del gas transportado: temperatura, presión, humedad, densidad, viscosidad, punto de rocío de los componentes condensables, conductividad eléctrica, corrosión, inflamabilidad, toxicidad, etc., éstas tienen una marcada influencia sobre la selección del equipo. Por ejemplo no podrán utilizarse colectores con bolsas de algodón estándar con corrientes de gases que excedan una temperatura de

TABLA 3.1

TAMAÑO DE PARTICULAS DE POLVO Y HUMOS EMITIDOS EN OPERACIONES INDUSTRIALES TÍPICAS Y RANGOS DE OPERACION APROXIMADOS DE EQUIPO DE CONTROL.

		Partículas sólidas o líquidas que producen bruma.			
				Humo de tabaco	
				Humo de hornos de acero de hogar abierto	
				Humo de hornos de acero eléctrico	
		Polvo de alto horno de hierro			
Polvo de caliza		Niebla de H ₂ SO ₄		Negro de humo	
Carbón pulverizado			Pigmentos		
Ceniza volátil de chimenea				Humo de aceite	
		Ceniza volátil de carbón pulverizado		Humo de Óxido de zinc	Moléculas gaseosas
		Polvos de fundición			
Polvo de cemento		Humos de alcalis			
		Polvos de procesos metalúrgicos		Humo de óxido de magnesio	
				Humos de procesos metalúrgicos	
Cámara de asentamiento					
Ciclones comunes					
Colectores secos					
Ciclones de alta eficiencia					
Lavadores de gases					
		Lavadores de gases especiales			
		Lavador de gas tipo Venturi			
		Lavador de gases			
		Precipitador electrostático			
		Colectores de bolsas			

80°C; en los equipos de bolsas y en los centrífugos, la presencia de vapor o condensación de vapor de agua causará taponamientos; en colectores secos, la composición química puede atacar el medio filtrante o el metal y en los equipos tipo húmedo, pueden ocasionar condiciones extremadamente corrosivas al mezclarse los contaminantes con agua.

- 3) Factores del proceso: tales como capacidad, concentración de partículas, variabilidad del flujo de gas, presión estática permitida, calidad de los productos y eficiencia de colección requeridas. Aquí se tomará una importante decisión para seleccionar el tipo de colector adecuado que realice un trabajo satisfactorio. Dicha evaluación deberá tomar en cuenta diferentes opciones, ya sea de un equipo costoso de alta eficiencia como el precipitador electrostático; o un equipo de costo moderado de alta eficiencia como el colector de bolsas o el húmedo, puede también optarse por unidades primarias de bajo costo como los colectores centrífugos o analizar la posibilidad de combinar varios equipos. La eficiencia que se desea obtener dependerá de la ubicación de la planta, naturaleza del contaminante y cumplimiento de los reglamentos establecidos. El equipo de con-

trol deberá ser más eficiente, según aumente el volumen de emisiones a manejar.

- 4) Factores operacionales: incluyen limitaciones estructurales tales como: altura de techos, espacio disponible, limitaciones en los materiales de construcción para soportar - presión, temperatura y corrosión.

- 5) Factor económico: Evaluación de costo inicial, de instalación, operación, mantenimiento, depreciación de costos y vida económica de la unidad. En caso de equipos húmedos de control, el tratamiento y manejo de lodos se incluye dentro de los costos de operación.

Para diseñar un sistema nuevo, deberá hacerse lo siguiente:

- a) Evaluaciones previas, toma de datos y procesamiento de los mismos para obtener especificaciones del equipo de - control.

- b) Un plano de distribución de los equipos de proceso donde - exista la emisión.

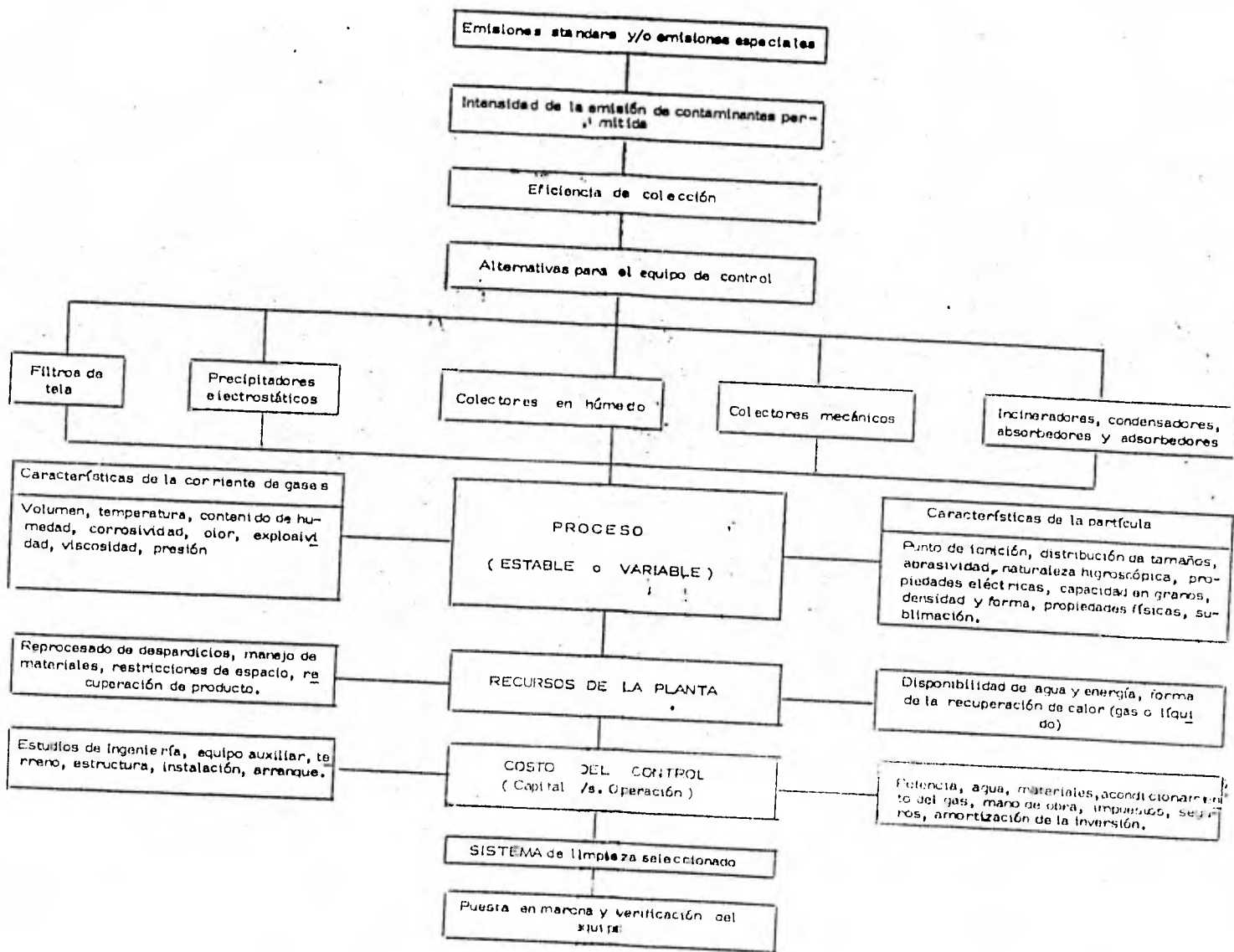
- c) Un plano de elevación donde se indique la posición, longitudes y diámetros de los ductos que conectan a los diferentes equipos, incluyendo localización del ventilador y el área donde se va a instalar el colector, así como la soportería en general.
- d) Plano de detalles de los tipos de campanas de succión para cada equipo.

Todos los factores para el criterio de selección y diseño de un equipo de control, se muestran en el cuadro 3.

Cuando se diseña un sistema de control de emisiones, cada uno de los puntos antes mencionados, deben ser objeto de un profundo análisis. Aquí solo se cita la importancia de las campanas de succión, ductos, ventiladores y la selección del equipo de control.

3.1 Campanas de Succión. - Estos equipos son utilizados para captar inicialmente las emisiones de polvos en una área de trabajo que después serán transportadas a través de ductos hacia el equipo colector. El volumen de aire requerido para capturar y transportar el polvo, dependerá del tamaño y forma de la campana, de su posición

CUADRO 3
CRITERIO DE LA SELECCION Y DISEÑO DE UN EQUIPO DE CONTROL



relativa al punto de emisión así como de la naturaleza y cantidad de emisiones contaminantes a manejar.

La campana de succión es parte muy importante del sistema de colección, ya que es la captadora inicial de las emisiones y en función de ellas se seleccionan los ductos que conducirán los contaminantes al equipo de colección, contribuyendo así al buen desempeño del sistema pues aunque el colector fuera excelente, si no se le hacen llegar los gases o polvos contaminantes, no podrá ser eficiente.

A continuación se muestra la importancia de la campana en un proceso de colección, en este caso será en el control de emisiones en hornos eléctricos de arco que se utilizan en la industria de fundición de aceros. La cantidad de humo y polvo que se genera durante la fusión del metal, se encuentra entre el 1% y 2% del peso del metal fundido, el tamaño de las emisiones es de 1/2 micra como máximo, la temperatura de los gases de salida es aproximadamente de 1450° C.

La cantidad de contaminantes que se genera en esta operación es razón suficiente para instalar un sistema de colección. La emisión mantiene la siguiente relación: una planta que funde 20 tone

ladas por hora, descarga a la atmósfera entre 200 y 400 kg de humo y polvo por hora; si se considera un día laboral de 8 horas, se tendrán entre 1.6 y 3.2 toneladas de polvo diario. Las características físicas y químicas de estas emisiones hacen que su colección sea un problema delicado. Los factores que deben considerarse para determinar la mejor solución son: la cantidad y temperatura de los gases que se generan, la forma de fusión, especificaciones metalúrgicas, limitaciones de espacio en el horno así como el estado y condiciones del mismo y tipo de CAMPANA de extracción.

Los tipos de campana que generalmente se usan son:

- 1) CAMPANA SUPERIOR,
- 2) CAMPANA DOBLE ENVOLVENTE,
- 3) CAMPANA LATERAL,
- 4) CAMPANA CUARTO ORIFICIO,
- 5) CAMPANA TIPO SNORKEL, y
- 6) CAMPANA COMBINADA.

1) CAMPANA SUPERIOR (Fig. 3.1A)

VENTAJAS

No interfiere físicamente con el horno,
Captación durante la carga, el vaciado y
eliminación de escoria,
No produce cambio alguno en la metalurg
gia,
Bajo costo de mantenimiento.

LIMITACIONES

Necesita altos volúmenes de aire,
Queda sujeto a corrientes cruzadas de
aire, que alteran la captación de humos,
Durante la operación de carga y vaciado,
los humos pueden obstruir la línea de -
visión del operador de la grúa.

2) CAMPANA DOBLE ENVOLVENTE (Fig. 3.1B)

VENTAJAS

Mejor uso del aire de ventilación (emplea menor cantidad de aire que el de campana superior),
Durante la carga del horno se capta algo de humo,
Peso inferior al tipo de campana superior.

LIMITACIONES

Queda limitada la carrera del electrodo.
Se requiere aislar con refractario o enfriar a base de agua las secciones que se encuentran alrededor de los electrodos.

CAMPANA SUPERIOR

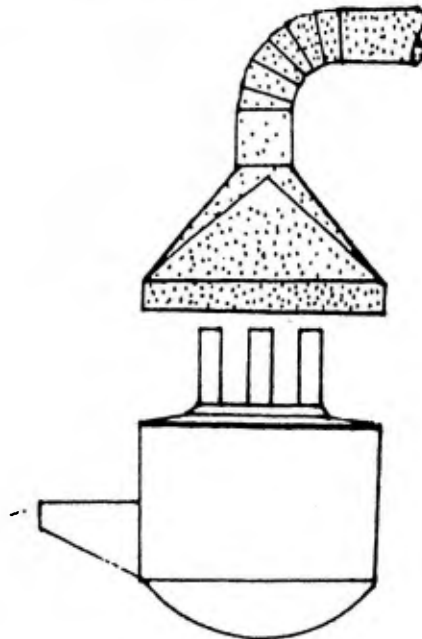


Figura 3.1A

CAMPANA DOBLE ENVOLVENTE

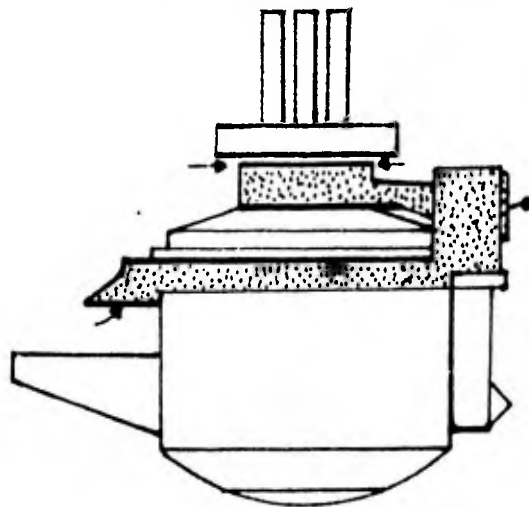


Figura 3.1B

3) CAMPANA LATERAL (Fig. 3.2A)

VENTAJAS

En algunos hornos puede lograrse el cambio de techo del horno sin necesidad de quitar la campana lateral,
No interfiere con la carrera del electrodo,
Se logra buena captación de gases alrededor de los electrodos,
Requiere menor volumen de aire que en los tipos antes mencionados,
No afecta a la metalurgia del metal,
No interfiere el acceso al sistema de enfriamiento del horno.

LIMITACIONES

Depende de la posición de los electrodos, en los casos en que es difícil adaptarla se modifica su diseño.

4) CUARTO ORIFICIO (Fig. 3.2B)

VENTAJAS

Quando se usa en el sistema un enfriador por radiación, requiere volúmenes mínimos de aire,
Para instalar este sistema, el área necesaria del techo del horno, es mínima,
Aumenta la duración del techo del horno.

LIMITACIONES

Afecta la metalurgia del metal en algunos casos (fundición de acero inoxidable),
Es necesario regular la presión interna del horno al utilizar un sistema de control muy preciso.

CAMPANA | LATERAL

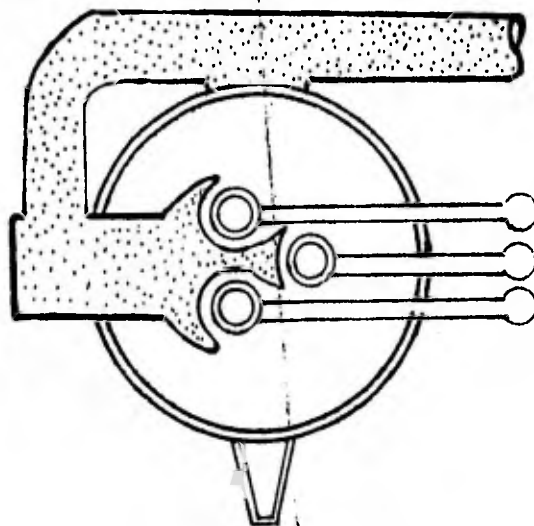


Figura 3.2A

CUARTO | ORIFICIO

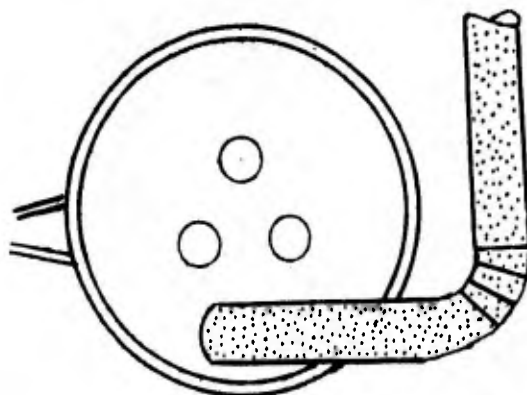


Figura 3.2B

5) TIPO SNORKEL (Fig. 3.3A)

VENTAJAS

Basicamente se logran los mismos resultados que se tienen al usar el cuarto orificio, pero sin afectar la metalurgia de la fusión.

LIMITACIONES

Requiere mayores volúmenes de aire que el sistema del cuarto orificio.

6) CAMPANA COMBINADA (Fig. 3.3B)

VENTAJAS

Requiere bajos volúmenes de aire (pero mayores que en el tipo de cuarto orificio),
El sistema de enfriamiento de gases puede ser por radiación o atomización con agua,
No afecta la metalurgia,
Tampoco afecta la carrera de los electrodos

TIPO SNORKEL

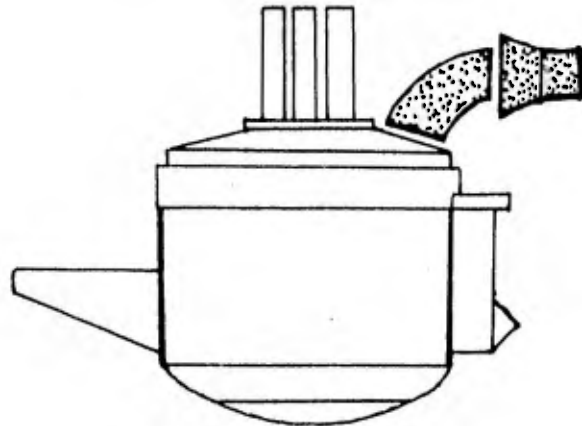


Figura 3.3A

CAMPANA COMBINADA

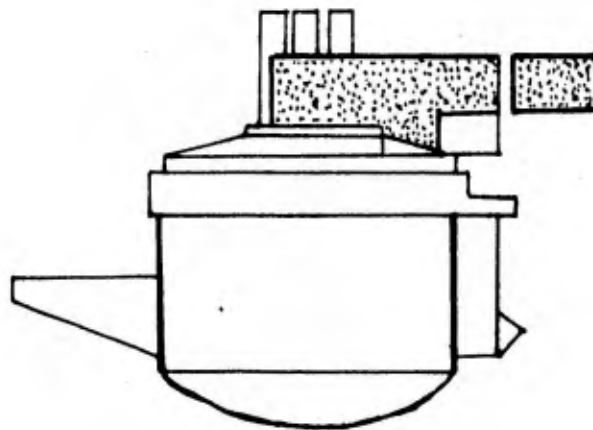


Figura 3.3B

LIMITACIONES

Para regular la presión interna del horno, es necesario contar con un sistema de control muy preciso, en adición de la succión en los electrodos,

Comparado con el cuarto orificio, tiene mayor peso sobre el techo del horno.

3.2 Ductos. - Al diseñar un sistema de ductos, tratará de optimizarse el trazo para hacer un sistema compacto y así reducir las resistencias por fricción y la potencia requerida del motor eléctrico. Cuando exista un grupo numeroso de equipos, el ducto principal se colocará al centro o lo más cerca posible de ellos, con el objeto de igualar las longitudes de cada ramal. Si es necesario, los equipos se dividirán en subgrupos para mejorar la distribución del aire y así obtener velocidades más apropiadas en las campanas de succión. Como existe una relación entre el tipo de campana de succión y el flujo de aire necesario para capturar el polvo fugitivo, deberá seleccionarse antes el tipo de campana, procediendo posteriormente a calcular el diámetro del ducto.

Para calcular el diámetro del ducto, es necesario determinar la velocidad mínima de transporte del polvo fugitivo en cuestión.

Existen tablas donde se especifica el rango de velocidad de transporte para diferentes materiales. El área del ducto es igual al cociente del flujo entre la velocidad; en esta forma puede calcularse dicho diámetro.

Si se tiene una serie de equipos, los ductos de cada uno de ellos irán a un cabezal que estará calculado para conducir la suma total de los flujos y a la velocidad de transporte especificada para ese polvo.

En el caso de un sistema múltiple de ductos que van a un cabezal, será necesario proveer un medio de distribución o control de flujo de aire en cada uno de ellos. La razón de esto es que el flujo siempre toma la trayectoria de menor resistencia ya que si el diseño no proporciona una distribución adecuada, ocurriría un balance natural del flujo, es decir, que se distribuiría por sí mismo de acuerdo a las resistencias de cada uno de los ductos del sistema; por esto, es necesario asegurarse de tener en todos la misma presión estática. Esta puede balancearse por medio de válvulas de mariposa para ajustar la presión y velocidad requerida.

Las reglas generales que deben seguirse para el diseño de

un sistema de ductos, son las siguientes:

- 1.- El flujo medio debe ser transportado en la forma más directa posible y a velocidad uniforme. Todo ésto estará sujeto a las limitaciones impuestas por costos de materiales, espacio y potencia.
- 2.- Los cambios de dirección del flujo deben minimizarse.
- 3.- La superficie del ducto debe ser lo más lisa posible y usarse en su construcción aluminio o acero. Si la superficie no es tan lisa, deberá considerarse el factor de fricción estimado. Debe evitarse el incremento de áreas ásperas porque causan separación del flujo y turbulencia.
- 4.- Cuando se necesiten áreas de expansiones transicionales se harán, pero no se diseñarán con un ángulo medio que exceda de 7° C.
- 5.- Como la aceleración tiende a prevenir la separación en áreas ásperas, la disminución seccional de área no es tan importante como la expansión; sin embargo, la contracción no tendrá un ángulo medio mayor a 30° C.

— Cálculo de ductos.- Al diseñar un sistema de colección de polvos, es necesario determinar la medida de los ductos con que

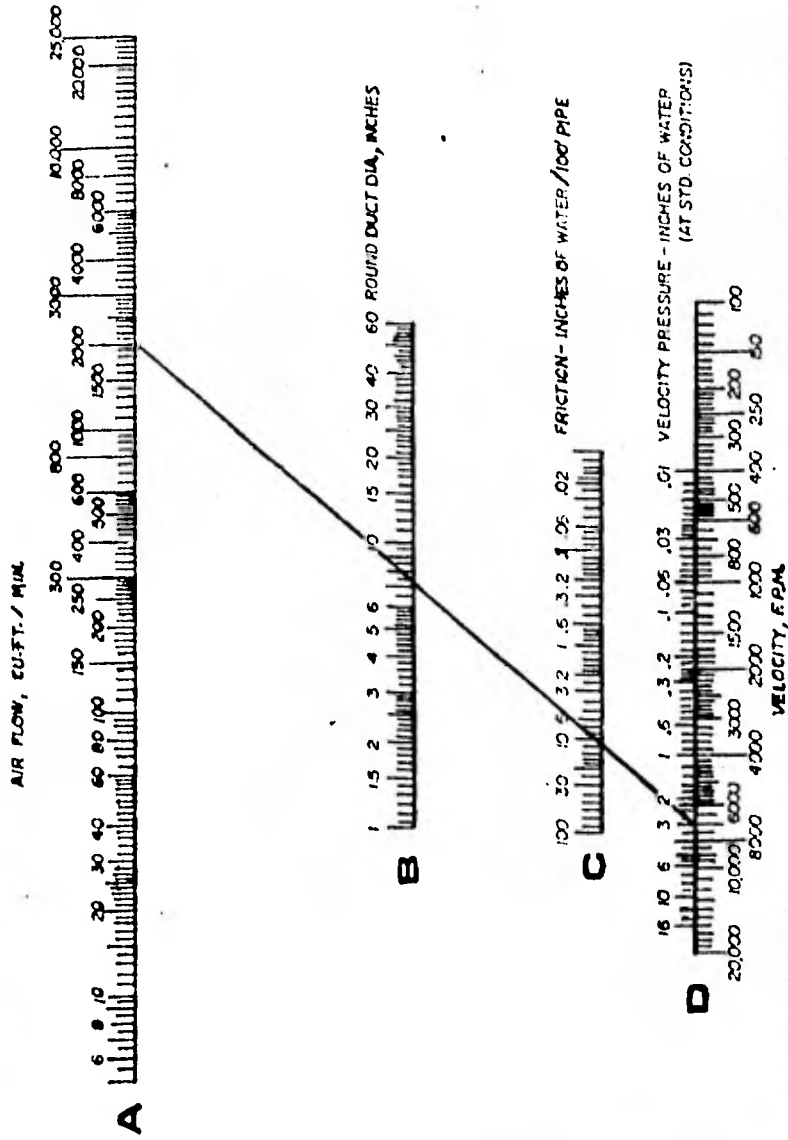
se trabajará así como encontrar las pérdidas por fricción. Para agilizar estos cálculos, se utiliza una nomografía simplificada, en ella se traza una línea fuerte de la escala A (flujo de aire, pies cúbicos por minuto) a la escala D (velocidad, pies por minuto); en el punto de intersección con la escala B, se encontrará el tamaño mínimo del ducto que se necesita para manejar el aire. También permite calcular la presión de velocidad, ésta cambia proporcionalmente al cambio de velocidad y puede leerse directamente de la escala D.

La nomografía se muestra a continuación y también se ilustra el siguiente ejemplo: Se transportan 2000 pies³ por minuto de aire a una presión de velocidad de 3 pulgadas de agua. Determinar el tamaño del ducto.

Solución.- Se localiza y se unen 2000 pies³ por minuto de la escala A con 3 pulgadas de la escala D. Se lee el tamaño del ducto en la escala B y es de 7 1/4 de pulgada. La velocidad de aire en el ducto será aproximadamente de 7000 pies por minuto.

3.3 Selección del Ventilador. - El ventilador se utiliza para mover el aire de un punto a otro. En el sistema de control de contaminantes, el ventilador imparte el movimiento a la masa de -

NOMOGRAFIA CALCULO DE DUCTOS



aire y transporta el polvo desde la fuente de generación hasta el dispositivo en el cual el aire es separado y el polvo recolectado, permitiendo así que el aire limpio salga a la atmósfera.

El funcionamiento de un ventilador se caracteriza por el volumen de aire manejado, la presión total a desarrollar en pulgadas de agua, con la que el flujo es producido con una eficiencia determinada y con una potencia requerida, todo esto a una velocidad angular establecida. Las relaciones anteriores son dadas por el fabricante en forma de tablas o curvas específicas para cada ventilador.

La densidad del flujo gaseoso a manejar es de suma importancia, por lo que la altitud de la zona a la que va a operar el equipo y la temperatura del gas, son datos a considerar al seleccionar el tamaño del ventilador y su motor correspondiente.

Los diferentes tipos de presión que existen en el ventilador son:

p_s Presión estática - Es la del ventilador antes de que fluya el material a manejar.

P_v Presión de velocidad -Es el resultado de la velocidad con que incide el flujo a manejar.

P_t Presión total -Es la suma de la presión estática y la presión de velocidad. La presión total de un ventilador es el incremento en la presión total a través de él, indicado por la diferencia de lecturas entre la entrada y la salida del ventilador por dos tubos en cuyas superficies choca la corriente de aire.

$$P_t = P_s + P_v$$

P_v Es la presión de velocidad en la salida del ventilador - expresada en pulgadas de agua.

La selección del ventilador se lleva a cabo sumando la presión necesaria para vencer todas las pérdidas por fricción que sufre la corriente de aire a través de cada uno de los ductos de diferentes diámetros y cambios de dirección de su línea más la presión necesaria para vencer la carga estática entre el ducto o ductos de menor nivel hasta el sitio donde esté localizado el ventilador, más las pérdidas por fricción que sufre la corriente durante la entrada a las -

campanas de succión, mas la presión necesaria para vencer el paso de la corriente a través del colector de polvos. Estas presiones son expresadas como Estáticas.

En un ventilador existen las siguientes relaciones:

- 1) El gasto es proporcional a la velocidad,
- 2) La presión total es proporcional al cuadrado de la velocidad,
- 3) La potencia requerida varía proporcionalmente al cubo de la velocidad,
- 4) La eficiencia es independiente de la velocidad,
- 5) A velocidad y capacidad constante, la presión y potencia varían directamente con relación a la densidad del aire.

El tipo de ventilador que se utiliza con más frecuencia en estos sistemas, es el ventilador centrífugo. En términos generales, se caracteriza en que a mayor flujo menor presión estática y menor potencia a revoluciones por minuto constantes o velocidad angular constante. Estos ventiladores se subdividen en los grupos siguientes:

1. De álabes curvos hacia adelante. - Aquí los álabes del rotor

están curvados en la dirección de rotación; no se recomiendan para manejar flujos con polvos en suspensión debido a que se adhieren a la superficie del rotor, provocando desbalanceo además de que haría difícil su limpieza. Se denominará Tipo " C ".

2. De álabes rectos o planos.- Este grupo es el " caballito de batalla " para manejo de polvos, pues se utiliza para manejar corrientes de aire con alto contenido de sólidos en suspensión. Se denominará Tipo " B ".

3. De álabes curvos hacia atrás y de sección aerodinámica. Los álabes de este rotor están curvados en dirección opuesta a la rotación del ventilador. Desarrollan mayor presión que los curvados hacia adelante y son usados en trabajos de acondicionamiento de aire, en ventilación y calefacción, donde se manejan grandes volúmenes de aire. Se denominan Tipo " A ".

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS TRES TIPOS DE ROTOR
ANTES MENCIONADOS.

ROTOR TIPO " A " (Fig. 3.4).- De áspas curvadas hacia atrás y de sección aerodinámica. Las cualidades que los definen son: eficiencia, escaso ruido, resistencia mecánica y escasa necesidad de mantenimiento. Generalmente se emplean en sistemas donde se maneja aire limpio, sin grandes cantidades de polvo y a temperaturas menores de 500 °C. Se construyen en cinco clases diferentes, de acuerdo con la velocidad tangencial a que se opera y son:

CLASE I	Hasta 51 mt/segundo de velocidad tangencial
CLASE II	Hasta 71 mt/segundo de velocidad tangencial
CLASE III	Hasta 87 mt/segundo de velocidad tangencial
CLASE IV	Hasta 101 mt/segundo de velocidad tangencial
CLASE V	Hasta 127 mt/segundo de velocidad tangencial

ROTOR TIPO " B " (Fig. 3.5).- De álabes rectos o planos. Han sido diseñados para sustituir a los tipo " A " en aquellas aplicaciones en los que el gas del sistema es corrosivo o está contaminado por cantidades regulares de polvo. No es adecuado para transporte neumático pero puede manejar aire con polvo en suspensión.

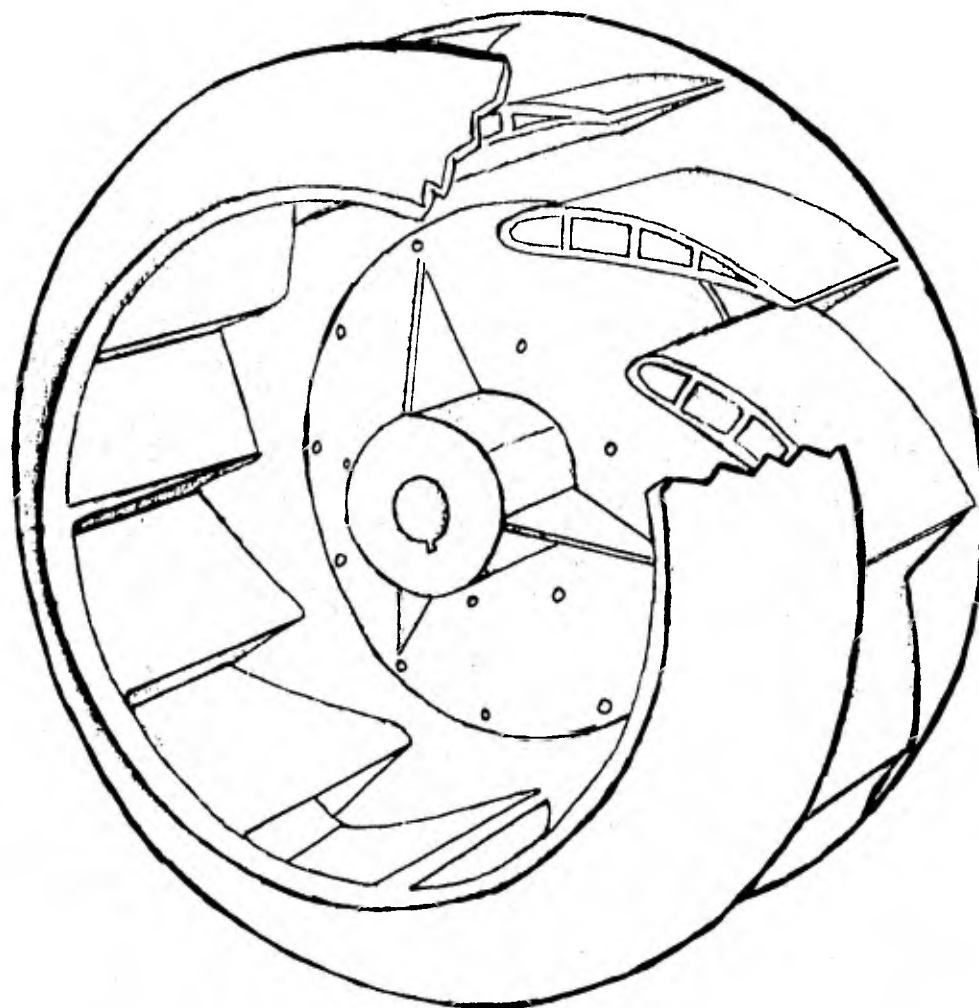


Figura 3.4

Rotor de ventilador tipo A de aspas aerodinámicas
(mostrando un corte de la sección).

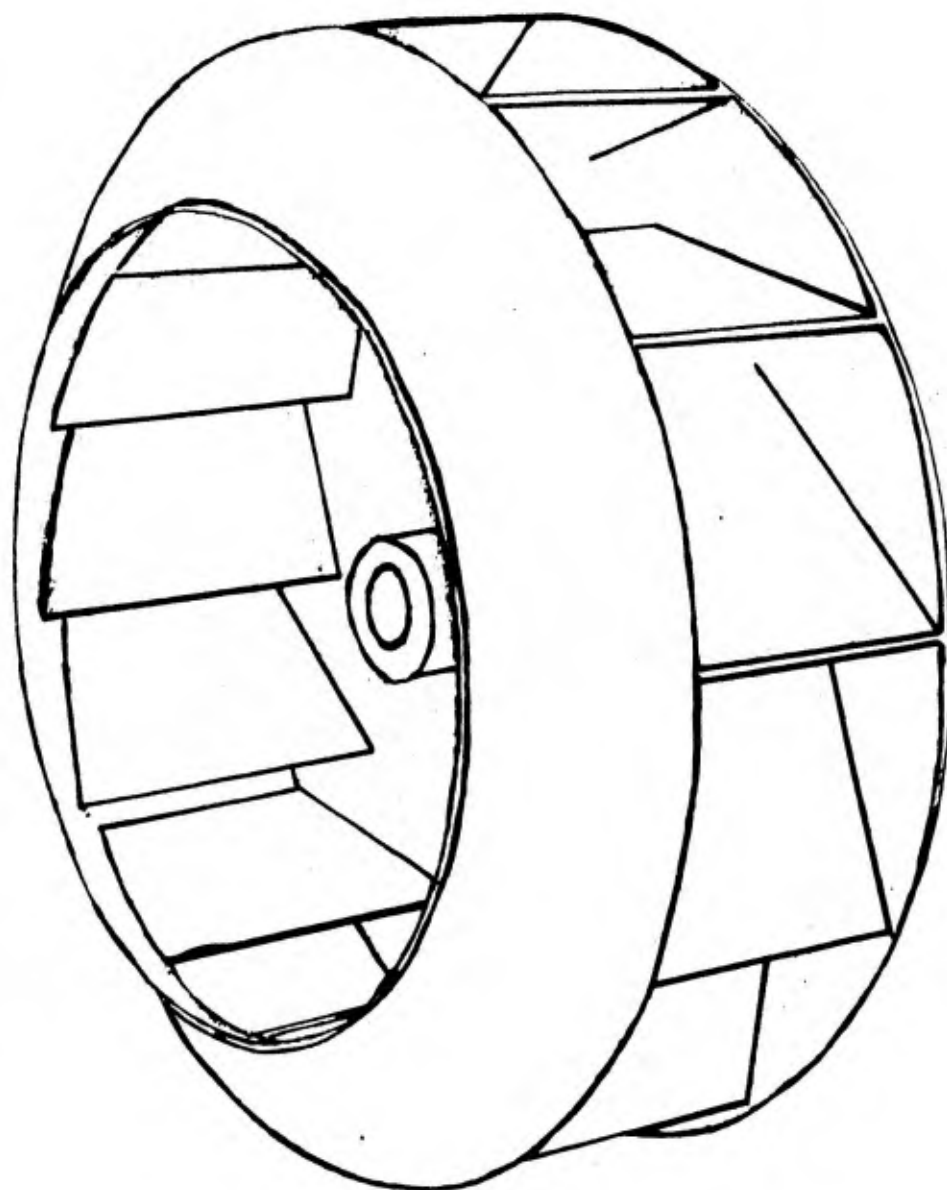


Figura 3.5

Rotor de ventilador tipo B de aspas planas atrazadas

El límite de temperatura de operación es de 500°C y puede construirse de materiales especiales o recubrirse para evitar corrosión. De acuerdo con su velocidad de operación se clasifican en:

CLASE I Para 51 mt/segundo máximos de velocidad tangencial

CLASE II Para 73 mt/segundo máximos de velocidad tangencial

ROTOR TIPO " C " (Fig. 3.6).- De álabes curvos hacia adelante. Opera a un mínimo de velocidad, su funcionamiento silencioso lo hace particularmente idóneo para las instalaciones de ventilación donde se usan muy bajas presiones. Se usan con aire limpio y a temperaturas hasta de 200°C. Se fabrican en una clase normal para una velocidad periférica de 25 metros por segundo y otra para una clase llamada industrial para una velocidad de 32 metros por segundo, ambos a la temperatura antes mencionada como máxima.

— CRITERIOS DE SELECCION.- Para seleccionar adecuadamente un ventilador de los tipos A, B o C, se recomienda evaluar los siguientes puntos básicos de criterio: 1) ahorro de fuerza, 2) nivel de ruido, 3) naturaleza del gas manejado, 4) dimensiones del equipo, y 5) precio.

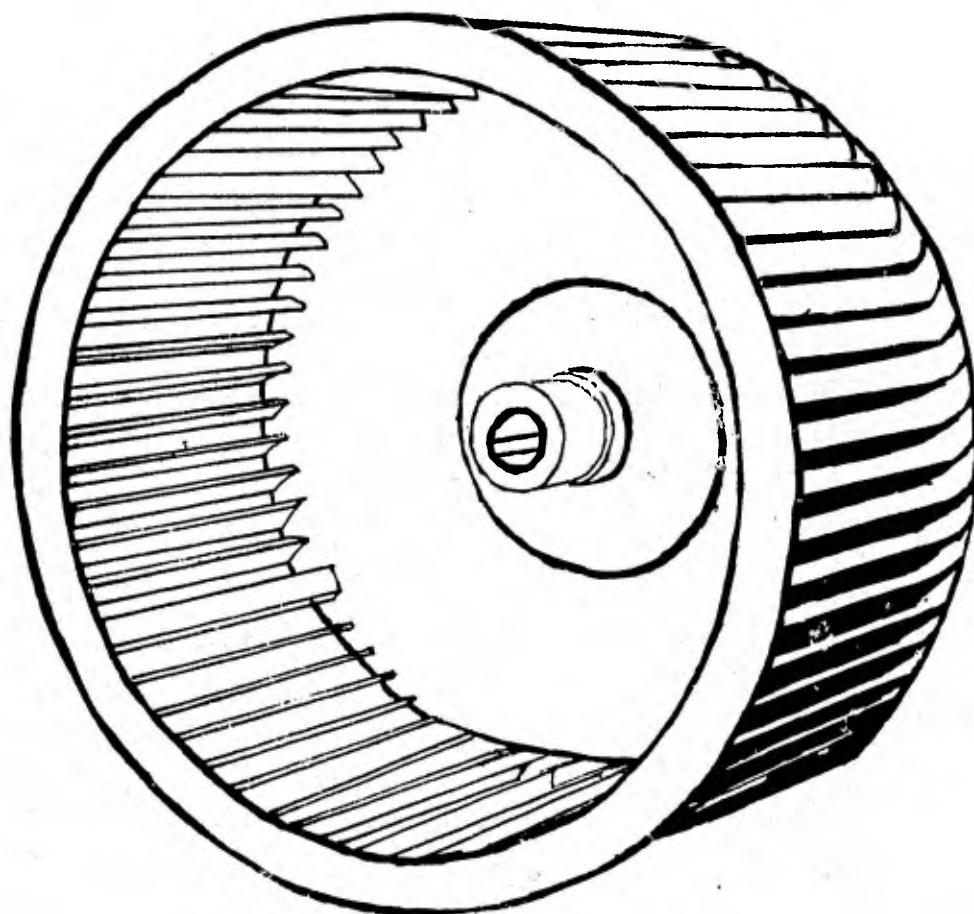


Figura 3.6

Rotor de ventilador tipo C de aspas curvas hacia
a delante.

Las curvas comparativas se dividirán en siete zonas de funcionamiento. La zona 1 corresponde a alta presión y bajo volumen; la zona 7 es de gran volumen y gran presión. Para un mismo tamaño de ventilador, la capacidad en cada zona es la misma, ésto facilita su comparación. El ventilador con rotor tipo " A ", tiene un rango que cubre las zonas 1 a 5 dentro de condiciones normales de eficiencia y ruido. El rotor tipo " B ", cubre las zonas 2 a 6 y el tipo " C " las zonas 3 a 7. (Gráficas 3.1.1 y 3.1.2)

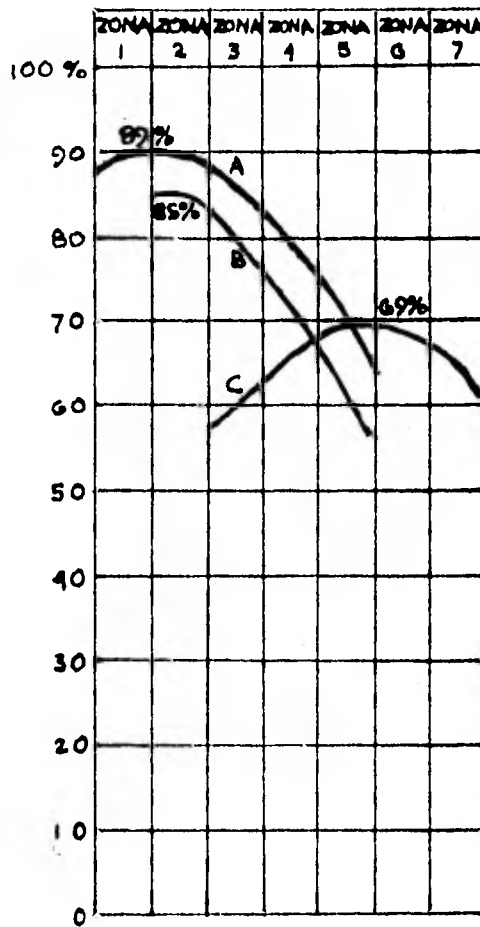
Para un mismo tamaño de ventilador en casos de aplicación común, el precio es de solo un 10% mayor en el tipo "A" que en los tipos "B" y "C"; éstos dos últimos tipos, tienen el mismo costo.

Por lo anterior se concluye que un ventilador demasiado pequeño es ruidoso y que por su excesivo consumo, su costo es mayor.

Es importante recordar que la selección de un ventilador dentro de la zona de máxima eficiencia resultará benéfico, pero si se selecciona mal será un fracaso.

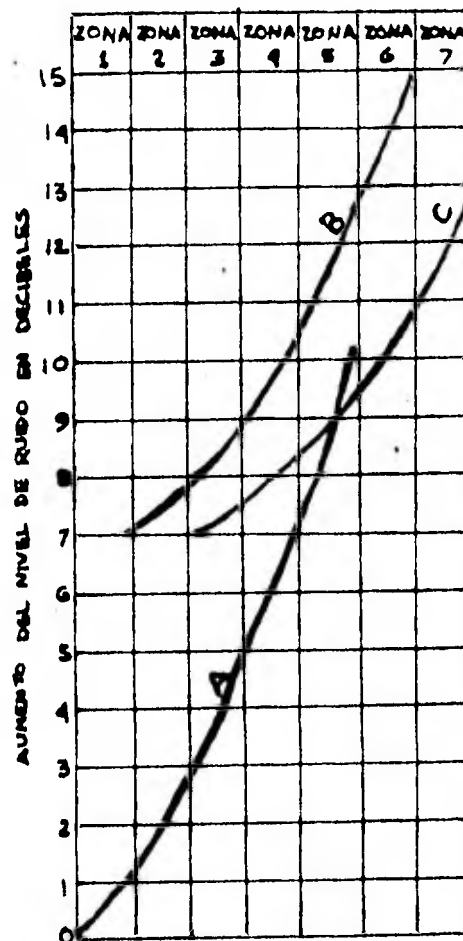
3.4 Selección del Equipo de Control.- Este punto se ejemplifica seleccionando el equipo de control adecuado al sistema de envase -

En la primera gráfica comparativa, se tienen 3 curvas de eficiencia, cada una correspondiente a cada tipo de rotor. Puede verse que la eficiencia en la zona 5 es más alta para el rotor tipo C que para los otros dos, pero en las demás es más baja. El tipo A resulta siempre más eficiente que el tipo B.



Grafica 3.1.1

En la segunda gráfica, las curvas de nivel de ruido muestran que el tipo A es el más silencioso y el tipo B el más ruidoso y que, además, el tipo A en la zona 5 es más ruidoso — que el tipo C.



Grafica 3.1.2

automático de una planta de cemento, que manejará 29000 m³/hr (17066.5 PCM), a una temperatura de 90°F, con una carga de polvo de 15 ó 20 granos por pie³ de gas, el tamaño de la partícula es de una micra o mayores. Debido al material que se va a manejar, el control debe ser de tipo seco y en base al tamaño de la partícula puede emplearse un colector tipo bolsas. Para calcular el área de material filtrante que empleará dicho colector se emplea la relación siguiente:

$$A_f = \frac{Q}{R}$$

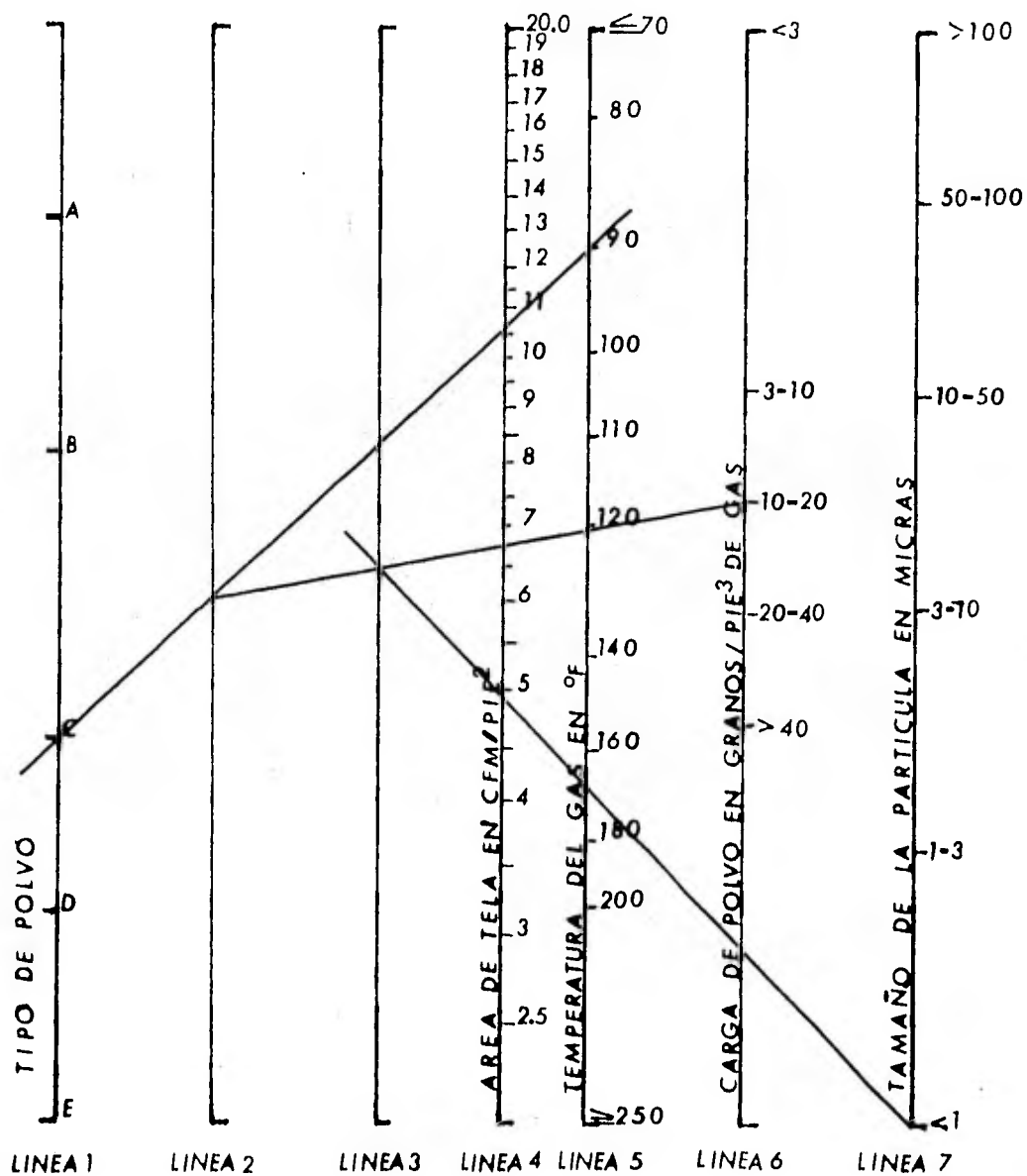
A_f = Área del filtro

Q = Gasto en CFM

R = Relación aire-tela

La relación aire-tela se encuentra empleando la nomografía mostrada en la página siguiente, en donde se sigue el procedimiento descrito a continuación:

1. Localizar en la línea 1 el tipo de polvo, en este caso los fabricantes clasifican al cemento como tipo C, este punto se une con el localizado en la línea 5 y que corresponde a la temperatura.
2. Se determina la intersección en la línea 2, se une con el punto localizado en línea 6 y que corresponde a la carga



de polvo.

3. Se determina la intersección en la línea 3 y se une con el punto localizado en la línea 7 y que corresponde al tamaño de la partícula.
4. Se determina la intersección en la línea 4 que da la relación buscada y en este caso es de 5PCM/pie².

Sustituyendo en la relación de área del filtro el dato obtenido en el punto 4 se tiene:

$$A_f = \frac{17066.5 \text{ PCM}}{5\text{PCM/pie}^2} = 3413.3 \text{ pie}^2$$

El área corresponde según tablas de los fabricantes a un equipo con 380 bolsas. Su costo se analiza en el siguiente punto.

3.5 Análisis de Costos. - A continuación se ilustra con un ejemplo la relación entre los costos, equipo, instalación, operación así como la proporción que existe entre el producto recuperado y el análisis costo-producto recuperado; también se analiza la amortización de los equipos de control de contaminación.

El costo total de la inversión del equipo de control fue el si

guiente:

EQUIPO.-	COLECTOR SECO DE BOLSAS
COSTO TOTAL.-	\$ 3,375.000.00
COSTO DEL EQUIPO.-	\$ 1,856.250.00 (55% del costo total)
COSTO DE INSTALACION.-	\$ 1,518.750.00 (45% del costo total)
PRODUCTO RECUPERADO.-	1,887 kg/hora
ANALISIS COSTO-PRODUCTO	
RECUPERADO:	Se trabajan tres turnos es decir 24 hs.

$24 \times 1887 = 45,288 \text{ kg/día} \text{ -- } 45.28 \text{ ton/día}$, de cemento terminado.

Para la cementera una tonelada de cemento terminado tiene un costo de: 4,000.00, por lo tanto diario recuperarán: \$ 181,120.00

El costo del equipo se recuperará en 20 días.

COSTO DE OPERACION.- \$ 21,600.00 mensuales

ANALISIS DE AMORTIZACION DEL EQUIPO.- La depreciación es acelerada; la ley marca tres años. En este análisis se -

utilizará suma de dígitos que:

Tres años de amortización 1 + 2 + 3 = 6

1er. año 1/6 (3375000) = \$ 562,499.97

2o. año 2/6 (3375000) = 1,124.999.90

3er. año 3/6 (3375000) = 1,687.500.00

Al final de los tres años 3,374.999.80 3,375.000.00

C O N C L U S I O N E S

Como se mostró en este trabajo, existen varias alternativas de control para humos, polvos y gases contaminantes, además se observó que el instalar un equipo de control adecuado al proceso que lo requiera, no es una inversión inútil o incosteable, ya que es el medio para minimizar considerablemente emisiones que de otra forma contaminarían en mayor o menor grado, dependiendo de su naturaleza.

El costo del equipo varía de acuerdo a las características del problema a resolver y cuenta con apoyos fiscales que permiten amortizarlo en forma acelerada independientemente de que el material recuperado se utilice de nuevo y represente un ahorro.

Lo anterior pudo apreciarse en el ejemplo de la planta de cemento en donde el equipo adquirido se amortizó en tres años, el costo de su inversión se recuperó en veinte días y lo más importante, se evitó que siguieran lanzándose a la atmósfera 45.28 toneladas por día, reduciendo al máximo las emisiones contaminantes que afectaban seriamente a las zonas cercanas y a las lejanas en menor grado pues como se mencionó, las partículas viajan grandes distancias.

Es urgente que este equipo de control se instale en todos los sitios que presenten problemas de emisiones para abatir así la creciente y peligrosa contaminación que nos daña y a la que no debemos aceptar como sinónimo de progreso tecnológico y económico.

BIBLIOGRAFIA

1. Wark, K. y Warner, C.: Air Pollution Its Origin and Control. Purdue University, Editorial IEP., Cap.5:189-190, 195, - 216-223, Cap. 6:227-269, 1976
2. Billings, E. y Wilder, J.: Handbook of Fabric Filter. Tech. GCA Corporation GCA Tech. Div. Bedford Mass. Vol.1 Cap. 1:41; Cap.2:90, 100.
3. Comm. Ind. Hyg. Industrial Ventilation. Editorial Am. Conf. Govt. Ind. Hygienists. 9a. Ed.
4. Buonkore, A.J. y Theodore, L.: Industrial Control Equipment for Gaseous Pollutants. Editorial CRC Press. Vol. 1, 1975
5. Marchello, J.M. y Kelly, J.J.: Control of Air Pollution - Sources. Marcell Dekker Inc. Vol. 7:141, 1976