

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**“ ABATIMIENTO DE LA CONTAMINACION AM-
BIENTAL EN LA INDUSTRIA DE LA CELU-
LOSA MEDIANTE EL USO DE PRECIPI-
TADORES ELECTROSTATICOS EN
UNA PLANTA DE 200 TON. DE
CELULOSA/DIA”.**

115

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A N :

**ARTURO GARCIA AGUILAR
JOSE ERNESTO GARCIA MEDINA**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Tesis
1974
M.E. ~~114~~ 114



QUIMICA

A nuestro asesor:

Ingeniero Químico
Mario Guevara Vera.

A nuestro asesor Técnico:

Ing. Dr. Humberto Bravo A.

A la Srita.
C.P. Leticia Lezama O.

Por su gran ayuda en la
elaboración de esta Tesis.

A todos nuestros Maestros
y amigos por su valiosa
orientación en nuestra
formación profesional.

Agradecemos a las Fábricas de
Papel Loreto y Peña Pobre, S.
A., todas las facilidades que
nos brindaron y en especial a
los Ingenieros Químicos:

Adalberto Tirado A. y
Mario Guevara Vera.

Jurado asignado originalmente
según el tema.

PRESIDENTE RAMON VILCHIS ZIMBRON

V O C A L ADALBERTO TIRADO ARROYAVE

SECRETARIO MARIO GUEVARA VERA

1er.SUPLENTE ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO

2do.SUPLENTE PABLO ALDRETT CRUZ

Sitio donde se desarrolló el tema: "Fabrica de Papel,
Peña Pobre. (Celulosa) "

Sustentantes: GARCIA AGUILAR ARTURO

GARCIA MEDINA JOSE ERNESTO

Asesor del tema: Ing. MARIO GUEVARA VERA

- Contenido -

CAPITULO I

	Pag.
Introducción.	1
Contaminantes Naturales.	2
Contaminantes, producto de acciones humanas.	2
Fuentes y efectos de los contaminantes.	3

CAPITULO II

Generalidades.	5
Emisiones de partículas en la Industria.	9
Equipos de Control, en la separación y colección de partículas.	13
Colectores Inerciales Secos.	16
Cámara de Asentamiento por gravedad.	17
Cámara de Mamparas.	18
Colector de persiana.	19
Ciclones.	20
Ciclones Múltiples.	21
Colector de Impacto.	22
Colector Dinámico.	23
Filtros de Bolsas.	24
Precipitadores Electrostáticos.	25
Lavadores Húmedos.	26
Lavador por rociado gravitatorio.	27
Lavadores ciclónicos.	28
Lavador de Impacto.	29
Lavador de lecho empacado.	30
Lavador dinámico húmedo.	31
Lavador Venturi.	32
Selección del equipo de control más adecuado. en la Industria de la Celulosa.	33
Cálculo de la eficiencia del equipo.	34
Costos del equipo de colección.	36
Costos de limpieza de gas.	37

CAPITULO III

Teoría de la precipitación electrostática.	40
Aplicaciones de precipitadores electrostáticos.	41
Mecanismos envueltos en el proceso de separación.	42

	Pag.
Tipos de precipitadores electrostáticos.	44
Para separación de partículas sólidas.	45
Para separación de partículas líquidas.	47
Para separación de partículas tanto sólidas como líquidas.	48
Selección del precipitador más adecuado en la Industria de la Celulosa.	49
Resistividad eléctrica.	49
Desarrollo Histórico.	51
Operación y Factores que lo alteran.	54
Principio de operación.	54
Factores que alteran su funcionamiento.	58
 CAPITULO IV	
Balance de Materiales.	63
Reacciones efectuadas.	63
Tabla de composición (base 100 Kg. sólidos)	66
Tabla de composición (base 1600Kg. sólidos)	70
Cálculo de flujo de gas.	72
 CAPITULO V	
Determinación de la eficiencia obtenida en el precipitador.	73
Constantes de precipitación.	75
Velocidad promedio de precipitación.	76
Ecuaciones prácticas de fabricantes.	77
 CAPITULO VI	
Conclusiones.	78
 CAPITULO VII	
Bibliografía.	79

CAPITULO I

Introducción.-

El hombre primitivo hizo uso del fuego para cocinar sus alimentos, lo usaba para calentarse, espantar y alejar a los animales salvajes. Probablemente, el fuego fué usado por el hombre mucho antes de que supiera producirlo, ya que los rayos de las tormentas pueden haber causado incendios en los bosques, cómo sucede en nuestros días.

En algún momento alguien descubrió cómo producir el fuego, uno de los métodos más antiguos que se conocen es el de frotar fuertemente dos palos secos; luego, se aprovecharon las chispas que producen dos piedras al golpearse, y más adelante, se empleó el lente de aumento. Esto tiene cómo consecuencia, que cuando cualquier substancia se quema, siempre existe un residuo de la substancia que se consume por el fuego, pero no siempre es notado. (6).

En la revolución industrial se consideró el humo de las chimeneas fabriles cómo símbolo de prosperidad; Sin embargo, actualmente un problema importante en las grandes ciudades es la contaminación atmosférica, producto del desarrollo industrial.

Muchos investigadores han estudiado la teoría y tecnología de formación y separación de las partículas de polvo de los gases. En general, una partícula de 10μ ó menor en diámetro será suspendida en el aire y tenderá a actuar de acuerdo, con las leyes de los gases. (3).

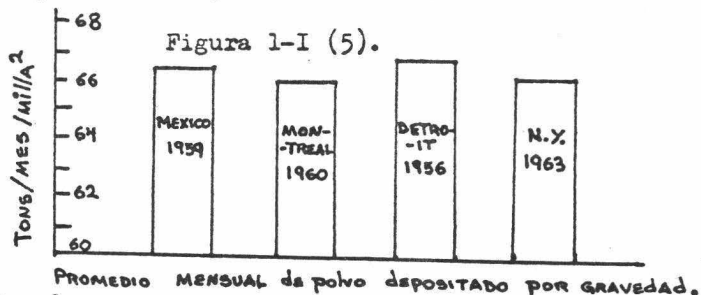
Las mayores fuentes de polvos industriales son los procesos polvosos por si mismos (industria del cemento) y procesos de combustión, quizás el 75% del polvo industrial, proviene del consumo de combustibles. Los combustibles más abundantes, carbón, coke, y aceites combustibles residuales, contienen alguna ceniza ó solido, no comburente. (Fig.1-I).

Los combustibles gaseosos contienen cenizas en menor cantidad en comparación con los combustibles sólidos, muchos esfuerzos se han estado realizando para reducir los contaminantes sólidos en los combustibles.

La Tendencia a economizar en la utilización de los energéticos ha tenido cómo consecuencia una mayor eficiencia en los equipos, y una reducción en la contaminación atmosférica por unidad empleada. Es necesario fijar que un gas aparentemente, claro que emana de una chimenea no significa necesariamente una alta eficiencia de colección ó combustión, ya que muchas instalaciones ineficientes en la actualidad son las que mezclan gases combustibles con grandes volúmenes de aire. (2).

Son dos las causas de la contaminación atmosférica:
 Natural; Propia de los procesos químicos y físicos que ocurren en la naturaleza.

Artificial; Producida por las actividades humanas.



Contaminantes naturales.-

La composición química del aire es muy compleja por las diversas fases que sufren los gases en la atmósfera, por otra parte, a estas fuentes primarias debe agregarse el fenómeno de la fotoquímica en la atmósfera.

La presencia de contaminantes en el aire afecta las propiedades de la atmósfera, en diversas formas, pero la disminución de la visibilidad es probablemente el primer indicio de la contaminación atmosférica que se percibe.

Las partículas de polvo se consideran como otro contaminante natural y se encuentran en menor escala que los humos y polvos industriales combinados. En muchos casos las actividades humanas son también responsables del aumento de polvo natural. (4).

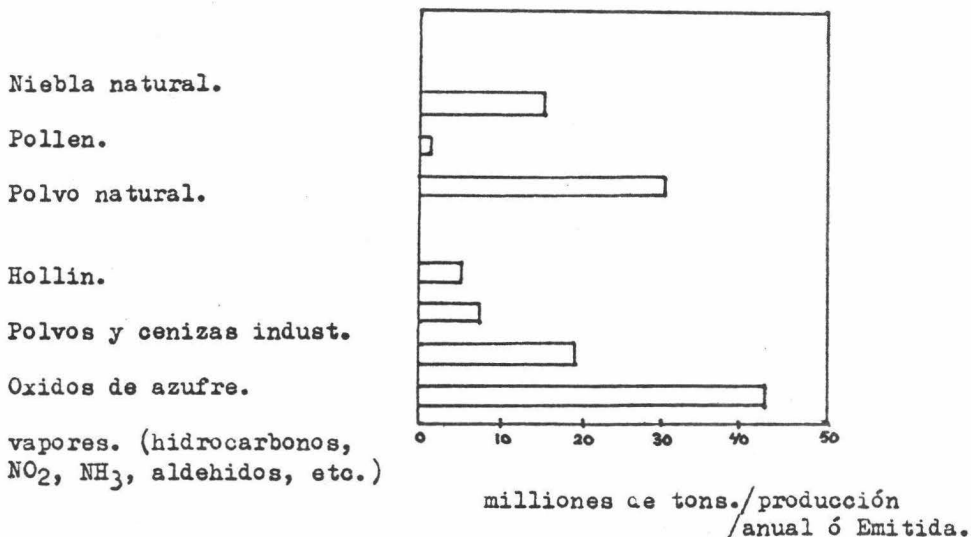
Contaminantes, Producto de Acciones humanas.-

Debido al cambio a una civilización industrial se ha estado incrementando la cantidad de agentes contaminantes en la atmósfera debido a la emisión de polvos, humos y partículas — creadas por el hombre, en la industrialización de los recursos naturales. Al presente, el estado del progreso industrial, — se ha encontrado una extensa lista de contaminantes producto de actividades humanas. Cerca de 100 contaminantes han sido identificados y gracias al avance de la ciencia y de la tecnología actual y futura, muchos otros podrán serlo.

De los contaminantes mostrados en la figura, 2-I, se ha dado mayor interés a la reducción de los vapores, polvos y emisión de dióxido de azufre, generados por el uso de la energía de combustión. (4).

Figura 2-1 (4).

Contaminantes más importantes del aire.



Algunos podrán ser eliminados, cuando los estudios recientes y los exámenes futuros sean terminados. Otros contaminantes - ahora desconocidos indudablemente serán añadidos en el futuro.

El problema se presenta cuando los volúmenes de contaminantes se acumulan debido a que la velocidad de dispersión y difusión, es menor que la de aparición de los mismos. Es también necesario el origen de la emisión, puesto que está tiene un significado sobre el método de medida.

Fuentes y Efectos de los Contaminantes.-

A continuación se da una tabla 1-I, de las fuentes y efectos materiales y biológicos que causan algunos contaminantes, así como algunas concentraciones de estos (4).

TABLA I, (4).

FUENTES Y EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES.

CONTAMINANTE	FUENTES MAYORES	PRINCIPALES EFECTOS.
✓ Compuestos de Azufre	Combustión de (carbón, aceite, material celulósico), procesos industriales.	Irritación Sensorial y respiratoria daña a las plantas, corrosión, posibles efectos adversos sobre la salud.
✓ Oxidantes	Reacciones fotoquímicas atmosféricas, — oxido de nitrógeno, gases orgánicos, vapores, y radiación solar.	Irritación Sensorial y respiratoria daña a las plantas. Abatece; indirectamente; una reducción en el índice de visibilidad debido a aerosoles fotoquímicos. Posibles efectos adversos sobre la salud.
✓ Monóxido de Carbono	Vehículos de gasolina, combustión de aceites, procesos industriales.	Reducción en la capacidad del transporte de oxígeno sobre la sangre.
✓ Total de hidrocarburos gaseosos	Uso de combustible en procesos industriales, evaporación de hidrocarburos.	Reducción sobre la visibilidad daña a las plantas; e irritación sensorial son efectos producidos en reacciones fotoquímicas incluye reacciones de hidrocarburos (etileno) y sus daños causados en las plantas.
✓ Oxido de Nitrógeno (óxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno).	Combustión de combustible, - procesos industriales.	Reducción sobre la visibilidad; daña a las plantas, e irritación sensorial, son producidas en reacciones fotoquímicas incluyendo oxido de nitrógeno; estos gases pueden también causar efectos adversos en la salud y dióxido de nitrógeno puede causar disminución en la visibilidad.
✓ Total de Aldehidos Alifáticos, formaldehidos y aeroleínas.	Combustión de combustible, - incineración de desperdicios, reacciones fotoquímicas atmosféricas.	Irritación sensorial, daña a las plantas, reduce la visibilidad, y posibles efectos adversos sobre la salud.
✓ Dioxido de Carbono	Procesos de Combustión.	Usado como un índice de contaminación de operaciones de combustión.
✓ Partículas de Materia suspendidas.	Combustión, industrial y procesos naturales.	Reduce la visibilidad, ensucian-dola.
Sulfuro de Hidrógeno	Coke, destilación de brea, - refinamiento de gas natural y petroleo, manufactura de rayón viscosa, y en ciertos procesos químicos.	Olor penetrante, causando muertes en Poza Rica, México, cuando grandes cantidades escapan de las unidades de refinación de gas natural.
Fluoruro de Hidrógeno	Calentando a temperaturas altas los metales, arcillas ó flujos que contengan fluoruros. Generalmente de la fábrica del acero, trabajos de cerámica reducción de aluminio en plantas y fábricas de Superfosfatos.	Daña a los cítricos y algunas otras plantas agrícolas, flores; afecta los dientes y huesos del ganado cuando por algún tiempo la cosecha sera consumida.
Plomo	Motores de Combustión Interna, emisión industrial, abertura de quemadores de madera cubiertos con pintura de plomo.	Envenenamiento de plomo.

CAPITULO II

Generalidades.-

Atendiendo el propósito, para atacar sin demora - los problemas que ocasiona la contaminación del ambiente, ha - formulado Conacyt el "Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, originada por la Emisión de - Humos y Polvos", el cual deriva de la Ley Federal para preve-- nir y controlar la contaminación ambiental, la cual en su artí-- culo 4, define;

a).- Por Contaminante.- Toda materia ó substan-- cia ó sus combinaciones ó compuestos derivados químicos y bio-- lógicos, tales como humos, polvos, gases, cenizas, bacterias, residuos y desperdicios y cualesquiera otros que al incorporar se o adicionarse al aire, agua o tierra, puedan alterar o modi-- ficar sus características naturales o las del ambiente; así co-- mo toda forma de energía, como calor, radioactividad, ruidos, que al operar sobre el aire, agua o tierra, altere su estado - normal.

b).- Por Contaminación.- La presencia en el medio ambiente de uno a más contaminantes, o cualquiera combinación de ellos, que perjudiquen o molesten la vida, la salud y el -- bienestar humano, la flora y la fauna, o degraden la calidad - del aire, del agua, de la tierra, de los bienes, de los recur-- sos de la Nación en general, o de los Particulares.

En la misma ley, en su capítulo segundo, que tra-- ta "de la prevención y control de la contaminación del aire", en sus artículos 10 y 11, se establece:

Artículo 10.- Queda prohibido sin sujetarse a -- las normas correspondientes, expeler o descargar contaminantes, que alteren la atmósfera en perjuicio de la salud y de la vida humana la flora, la fauna y, en general, los recursos o bienes del Estado o de particulares; por tanto, la descarga de conta-- minantes en la atmósfera, como polvos, vapores, humos, gases - materiales radiactivos y otros, deberá sujetarse a las normas que se especifiquen en los reglamentos correspondientes para - lo cual, se deberán instalar o adaptar los aditamentos que el Ejecutivo en cada caso, a través de las dependencias correspon-- dientes, considere necesarios para los fines propuestos en esta ley.

Artículo 11.- Para los efectos de esta ley serán consideradas como fuentes emisoras de contaminantes:

1.- Las naturales, que incluyen afeas de terrenos erosionados, terrenos desecados, emisiones volcánicas y otras -

semejantes;

2.- Las Artificiales, o sean aquellos productos de la tecnología y acción del hombre, entre las cuales se encuentran.

a).- Fijas, como fábricas, calderas, talleres, termoeléctricas, refinerías, plantas químicas, y cualquiera otra análoga a las anteriores;

b).- Móviles como vehículos automotores de combustión interna, aviones, locomotoras, barcos, motocicletas, automóviles y demás similares;

c).- Diversas como la incineración, quema a cielo abierto de basuras y residuos, y otras que consuman combustibles que produzcan o puedan producir contaminación.

En cuanto al "REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA ORIGINADA POR LA EMISIÓN DE HUMOS Y POLVOS", refiriéndose a la Industria en sus artículos:

Artículo 20.- En toda operación, proceso o actividad industrial, la emisión de polvos no deberá exceder de las cantidades indicadas en la tabla número 1, en relación al peso de proceso correspondiente, o en la tabla número 2, en relación al volumen de gas en la fuente, en metros cúbicos.

Artículo 21.- Las tablas números 1 y 2, empleadas para la evaluación de las emisiones de polvo a que se refiere el artículo anterior, se proporcionan aquí.

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

Artículo 21.-

TABLA I-II (1)

Peso del Proceso	Emisión Máxima Permitida, Kg/h	
	Industria	Industria
	Nuevo	Existente.
Ton/h		
0.025	0.489	0.652
0.050	0.780	1.040
0.100	1.239	1.652
0.200	1.974	2,632
0.300	2.589	3.452
0.400	3.141	4.188
0.500	3.648	4.864
0.750	4.788	6.384
1.000	5.805	7.740
1.250	6.741	8.988
1.500	7.617	10.156
2.000	9.237	12.316
2.500	10.725	14.300
3.000	12.120	16.160
3.500	13.437	17.916
4.000	14.694	19.592
4.500	15.900	21.200
5.000	17.064	22.752
6.0	19.281	25.708
8.0	23.382	31.176
10.0	27.153	36.204
15.0	35.625	47.500
20.0	43.200	57.600
25.0	50.166	66.888
30.0	55.572	74.096
35.0	57.462	76.616
40.0	59.127	78.836
45.0	60.564	80.752
50.0	61.926	82.568
60.0	64.269	85.693
70.0	65.556	87.408
80.0	68.052	90.736
100.0	71.154	94.872
500.0	95.436	127.248
1000.0	107.313	143.084
3000.0	130.080	172.650

TABLA 2-II (1)

Volumen de Gas en la fuente m ³ (PTS) por por minuto.	Concentración Industria Nueva mg/m ³ Normal, por minuto.	Concentración Industria Existente mg/m ³ Normal, Por minuto.
100	849.0	1132.0
125	795.0	1060.0
150	750.0	1000.0
175	714.0	952.0
200	684.0	912.0
300	600.0	800.0
400	543.0	724.0
500	510.0	680.0
750	444.0	592.0
1000	405.0	540.0
1500	357.0	476.0
2000	324.0	432.0
3000	285.0	380.0
4000	258.0	344.0
5000	240.0	320.0
7500	210.0	280.0
10000	192.0	256.0
15000	168.0	224.0
20000	154.2	205.6
30000	135.0	180.0
40000	123.0	164.0
50000	114.0	152.0

La contaminación del aire no es un problema nuevo, pero - la necesidad de soluciones inmediatas y a largo tiempo se han acele rado rápidamente.

P.T.S. Se entiende gases a 0°C y 760 mm Hg.

II-I Emisiones de Partículas en la Industria.

Las emisiones de partículas, Producto del uso de combustibles fósiles, pueden ser generalmente clasificadas como provenientes de fuentes móviles y de fuentes estacionarias.

A continuación se proporcionan varias fuentes de emisión.

- a). Transporte.
- b).- Combustión de combustible en fuentes estacionarias.
- c).- Procesos Industriales.
- d).- Dispersión de desperdicios sólidos.
- e).- Varios.

Hay tres clases de emisiones de las calderas y estas son significativas para obtener un punto estándar de contaminación de aire; partículas materiales, Oxidos de azufre, y Oxidos de nitrógeno. Históricamente, la emisión de partículas ha recibido la mayor atención posible, con vistas a el control de contaminación ambiental.

La tecnología presente se está adecuando para obtener una reducción en la emisión de partículas; ya que se está mejorando tanto en tecnología como en economía y por lo tanto es de esperarse, así un mayor control de las emisiones.

El dióxido de azufre es el que recibe una mayor atención, por causa de los posibles efectos adversos a la salud y daños demostrados a la vegetación. (1).

Los óxidos de nitrógeno reciben una atención considerable porque ellos participan en las series complejas de reacciones químicas en la atmósfera, que provocan la formación del "smog" fotoquímico.

La Figura 1-II-1 muestra las emisiones de partículas, -- emitidas de plantas de fuerza, fuentes Industriales y por fuentes móviles. Las emisiones de partículas por calderas han sido gradualmente reducidas al correr de los años debido a mejoras en los procesos de combustión. Sin embargo, el control ha sido más difícil por que, la cantidad de partículas es menor, por lo tanto más difícil la separación de quemado, hay variaciones en las emisiones de partículas sin tomar en cuenta el método debido a el tipo de quemado, que sufre el combustible.

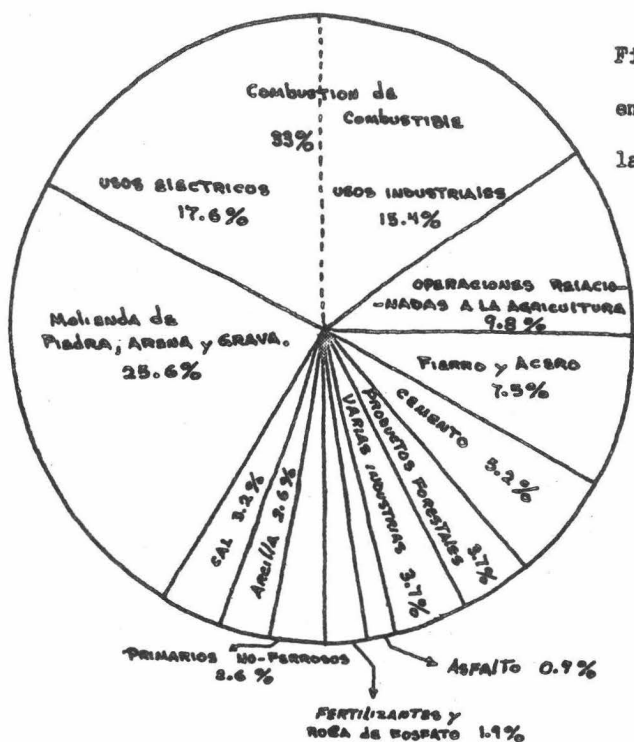


Fig. 1-II-Fuentes de emisiones de Partículas, México 70

Las calderas, que consumen gas, son las que están relativamente libres de emisiones de partículas; Si el gas de salida contiene partículas, esto es usualmente una señal de una combustión ineficiente.

Las unidades de quemado de aceite tienen emisiones de partículas materiales. La carga de emisión es muy alta, (al-rededor de 0.069 gramos por metro cúbico estandar), y podría ser aceptable si las emisiones no fueran formadas por partículas muy finas, ya que estas causan la disminución de la visibilidad, debido a que su tamaño se aproxima a la longitud de onda de la luz visible. (1).

En muestras colectadas, de una serie de unidades en operación, los estudios de distribución de tamaños mostraron que un promedio de 96 % de las partículas emitidas por grandes unidades de quemadores de aceite, tienen diámetros menores de 3 micrones, y un 80 a 95 por ciento menores de 1 micrón. (1). (10⁻⁶ mm).

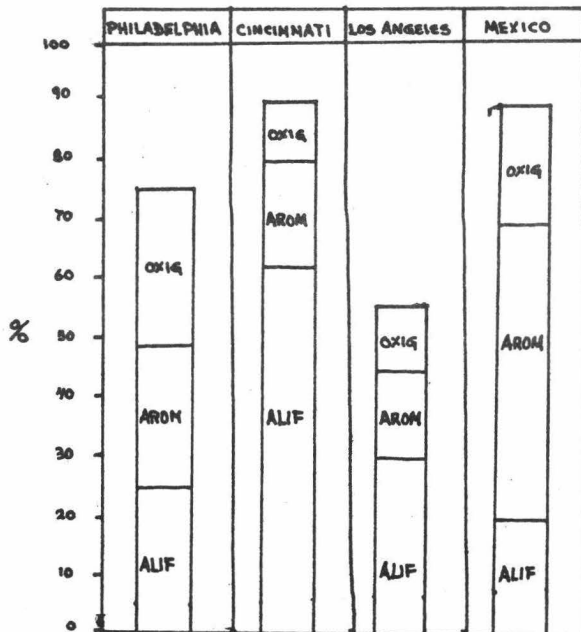
Los niveles de contaminación ambiental, reportados por las estaciones de control de la ciudad de México, hasta el mes de agosto de 1972, se proporcionan en la tabla 1-II-1.

Las emisiones de calderas de quemado de carbón, varían considerablemente dependiendo sobre el contenido de cenizas del carbón y del tipo de quemado. Para un carbón con 10% de cenizas, la mayor parte de los sistemas tienen una carga de polvos en el rango de 1 a 5 gramos por metro cúbico estandard.

En la ciudad de México el 31% del desarrollo industrial está localizado en el Valle, "y aunque la centralización está siendo desaprobada, la total restricción a nuestras industrias no es aún efectiva. Hay unas 50,000 industrias situadas en el Valle de México y cerca de 6,000 calderas y quemadores abiertos que operan sobre bases continuas" (2).

Debido a que el crecimiento anual de vehículos es — cerca del 12%, y que se ha pronosticado que al ritmo actual los vehículos descargarán anualmente 2.2 millones de toneladas de contaminantes en la atmósfera de la ciudad de México (2) como dato estimativo el 60% de los contaminantes atmosféricos actuales son producidos — por automóviles. Fig. 2-II-1.

Figura 2-II4(4)



En la figura, se hace gráficamente una comparación de la composición de las fracciones orgánicas neutras en la ciudad de México y en varias ciudades de los Estados Unidos. Obsérvese la alta proporción de hidrocarburos aromáticos en la ciudad de México.

Tabla I-II-I RESULTADOS DEL MUESTREO DE INDICADORES DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN EL VALLE DE MEXICO.

	A	N	O	S		
Promedio Aritmético	+1967	1968	1969	1970	1971	+1972
BIOXIDO DE AZUFRE Microgramos/m ³ 14,955 muestras de 24 horas.						
Anual	61	57	77	104	123	97
Máximo mensual	122	121	198	242	289	246
Máximo en 24 horas	237	345	827	737	707	474
Número de muestras.	396	1664	2914	3566	3851	2564
Partículas en Suspensión como Humo. Microgramos/m ³ . 14,972 muestras de 24 horas.						
Anual	99	92	90	91	94	100
Máximo mensual	215	219	200	253	232	240
Máximo en 24 Horas	380	654	707	898	978	827
Número de muestras	393	1669	2913	3550	3846	2601
Polvo sedimentable. Ton./Km ² /30 días. 509 muestras de un mes c/u.						
Anual	18.6	20.6	14.1	21.8	20.4	26.7
Máximo mensual	40.2	50.9	55.2	85.1	67.1	79.1
Número de muestras.	13	43	99	132	132	90
Indice de Sulfatación. 515 muestras de un mes. mg.SO ₃ /dm ² de PbO ₂ /día.						
Anual	.48	.21	.11	.18	.38	.36
Máximo mensual	1.22	.75	.32	1.05	.90	.75
Número de muestras.	9	53	100	132	132	89

+ Las mediciones empezaron en agosto de 1967

+

+ Hasta el mes de agosto de 1972.

Fuente: Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente.

II.2.- Equipos de control, en la separación y colección de partículas.

Un sistema de control de partículas contaminantes que se vierten en la atmósfera, deberá contener:(Fig.1-II-2)).

1.- Campanas de colección y ductos, que capturen los polvos y humos y los transporten hacia el equipo de separación y control:

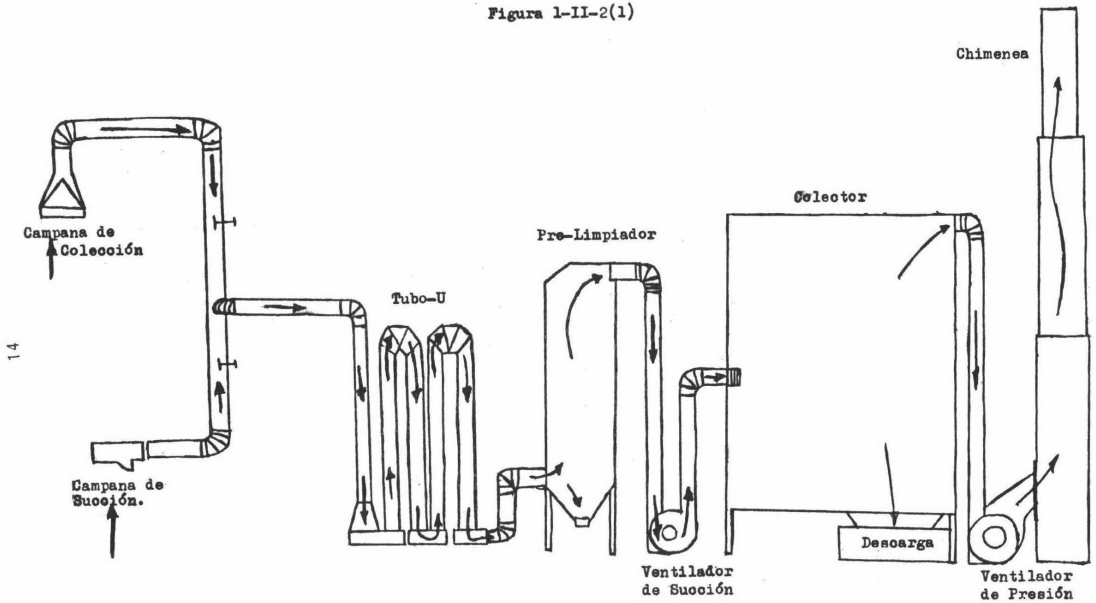
2.- Las bombas de aire, los ventiladores y el equipo de dirección, que mueve al aire a través de la tubería y los ductos hacia el equipo de control; El tamaño, el tipo y la localización de estas partes de el sistema son determinados por estudios de las condiciones específicas y experiencia en aplicación.

3.- Colectores de polvos o humos; La selección del tipo apropiado se guía, por las características Físicas y Químicas del flujo a manejar, tamaño, localización y mantenimiento son los factores, que determinarán la eficiencia de el sistema y sus costos de operación final.

4.- Medio filtrante; Podría ser seleccionado, por la calidad de aire, requerida, ya conocidas las propiedades del medio filtrante y los equipos fabricados.

5.- Descarga y equipo de colección; Antes de que los contaminantes o polvos hayan sido sustraídos de la corriente de aire puede presentarse un problema, a menos que la dispersión hay sido manejada dentro del sistema. La mayor parte de los materiales recuperados son finas partículas materiales, y si el material colectado tiene valor comercializado un método de recirculación ó empaçado podría ser diseñado dentro del sistema. (1).

Figura 1-II-2(1)



14

Los tipos de equipo , usados para la separación efectiva y colección de partículas en las corrientes de gas, trabajan sobre tamaños de partículas de polvo entre 0.1 a 100 micrones y concentraciones de 0.000228-0.228 Kg/M³ (2).

Los diferentes colectores de polvo disponibles a la fecha - están resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 1-11-2. (3).

Equipos de Colección de Polvo.

Tipos de Equipo colector de polvos	Rango de partículas en micrones	Eficiencia de colección % en peso	Velocidad del gas ft/min.	M/min.
A.- Colectores Inerciales Secos.				
Cámara de Asentamiento	50-200	50	300-600	91-183
Cámara de Mamparas.	50-200	50	1,000-2,000	305-610
Cámara de deslizamiento.	20-100	70	2,000-4,000	610-1219
Colector de persianas.	20-100	80	2,000-4,000	610-1219
Ciclones.	10-200	85	2,000-4,000	610-1219
Ciclones Múltiples.	5-200	95	2,000-4,000	610-1219
Colector de Impacto.	10-200	90	3,000-6,000	914-1829
Colector dinámico	10-100	90	- - - -	- - - -
Filtro de bolsas	0.2-200	99	1-20	0.30-6.09
Precipitador Electrostático seco.	2.0-en adelante	99	1-2,000,000	0.30-609600
B.- Lavadores Húmedos.				
Rociador gravitatorio.	10-200	70	100-200	30.5-61
Lavador ciclónico.	5-200	90	2,000-4,000	610-1219
Lavador de Impacto.	5-200	95	3,000-6,000	914-1829
Lavador de Lecho Empacado	5-100	90	100-300	30.5-91
Lavador Dinámico.	1-100	98	3,000-4,000	610-1219
Lavador Venturi	0.5-200	99	12,000-42,000	3658-12802
Jet.	0.5-5	90	12,000-40,000	3658-12000
Precipitador Electrostático Húmedo.	2.0-en adelante	99	1-2,000,000	0.30-609600

$$1\mu = 10^{-6} \text{ m.}$$

Introducción.

Colectores Inerciales Secos.-

Los Colectores Inerciales Secos tienen ciertas ventajas en comparación con un colector húmedo, si el polvo es un producto valioso, el colector seco ahorra el costo del reproceso. En el manejo de los materiales colectados puede darse un aumento adicional en el problema de la dispersión de polvos, ya que el polvo seco tiene la desventaja de requerir ventilación, la temperatura a la cual opera el equipo tiene que considerarse ya que una pequeña variación produce efectos corrosivos por lo cual el equipo generalmente es de material anticorrosivo ó recubierto con resinas.

La eficiencia en los colectores inerciales secos es de 50-99 % de colección. El colector mecánico ó inercial depende de la inercia de las partículas en un campo de fuerza centrífuga ó gravitatoria. (2).

Cámara de Asentamiento por Gravedad.-

Principio.- El gas sucio se pasa a través de una cámara de gran tamaño donde su velocidad disminuye considerablemente, - permitiendo el asentamiento de las partículas grandes, las cuales caen por gravedad. *fig (1).*

Comentarios.- El flujo puede ser horizontal o vertical, y la separación del polvo se dificulta por la recirculación de - partículas, debido a la formación de corrientes turbulentas.

La cámara de asentamiento por gravedad es hoy, poco usada debido ha que el espacio requerido es grande y su eficiencia es baja, la cual limita este tipo de equipo, para prelimpiar el gas que va ha ser alimentado a un colector de mayor eficiencia.

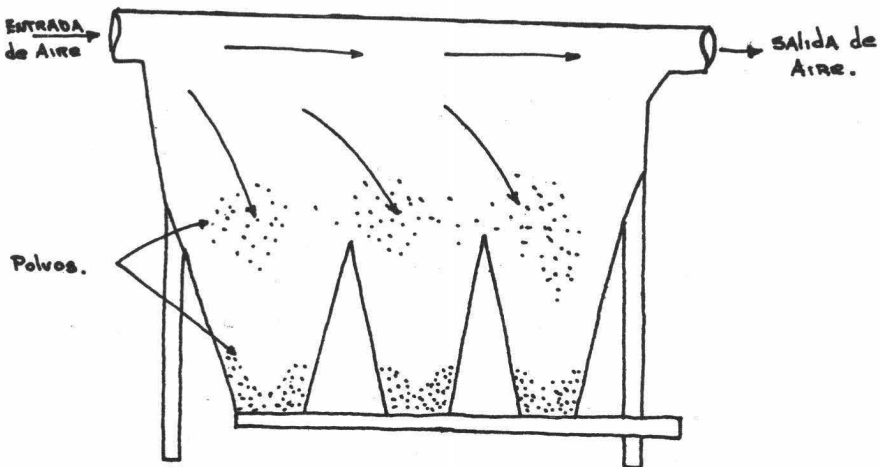


Fig. (1)

Cámara de asentamiento por Gravedad.

Cámara de Mamparas.-

Principio.- La velocidad de asentamiento es incrementada por el efecto del Momentum, debido a un cambio de dirección del flujo de gas que es dirigido hacia abajo, a través de una cámara que contiene una mampara, alrededor de la cuál el gas es desviado, mientras tanto las partículas de polvo más grandes tienden a seguir moviéndose hacia abajo, siendo colectadas en el recipiente para más tarde usarlas o eliminarlas. (Fig. 2).

Comentarios.- Este colector ocupa menor espacio que la Cámara de asentamiento teniendo una eficiencia similar.

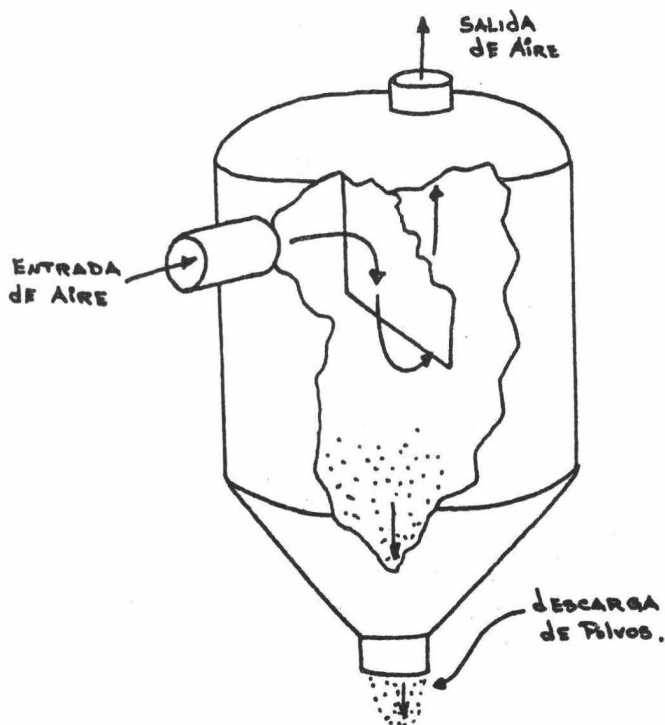


Fig. 2.

Cámara de Mamparas.

Colector de Persiana.-

Principio.- Al pasar el gas hacia adentro, los extremos se ensanchan en forma de cono, el gas limpio jirará bruscamente a través de unas ranuras o persianas en las paredes. -- Las partículas más grandes son transportadas por inercia a la salida, de la cámara donde ellas son purgadas con una fracción pequeña de la corriente del gas. (Fig. (3.))

Comentarios.- Este colector puede anteceder a un segundo colector, tal como un ciclón de alta eficiencia, separando los polvos del gas, dando una mayor eficiencia. El gas de purgado es, usualmente menos del 10%, y es recirculado a la entrada de el colector de persianas. (3).

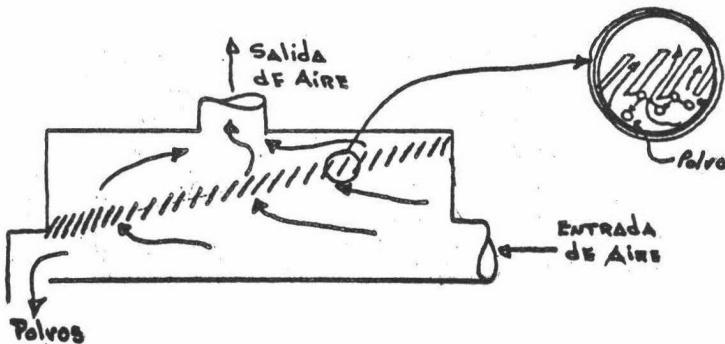


Fig. 3.

Colector de Persianas.

Ciclones.-

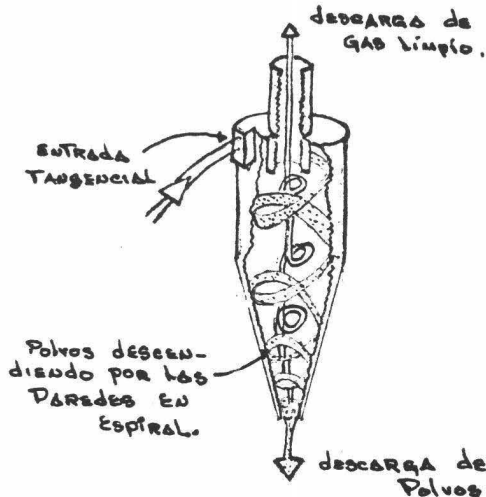
Principio.- En el arreglo común, la entrada del gas a el ciclón es tangencialmente en los bordes de la sección cilíndrica, corriendo hacia abajo en espiral, colectando los polvos dentro de la sección del fondo, la cual es de forma conica.

Las partículas de polvo, poseen mayor fuerza centrífuga que las moléculas del gas, la cual las acumula en la pared transportandolas hacia abajo. En el fondo del ciclón la separación del gas y los polvos, se efectua en una espiral más pequeña, en la que el gas fluye hacia arriba y sale en el borde; Los sólidos son colectados en el recipiente y son extraidos por una válvula rotatoria; rosca conductora, u otro tipo de válvula. — (Fig. 4).

Comentarios.- Los ciclones, son de los colectores más usados, la unidad es de bajo costo, no tiene partes movibles y puede ser construido con forro refractario, para temperaturas altas, arriba de 983°C. Las unidades pueden ser diseñadas para grandes cantidades de polvo, con eficiencia y caída de presión medias. Grandes eficiencias son obtenidas con diámetros pequeños y velocidades muy grandes, las cuales en su turbulencia producen caídas de presión muy elevadas.

Las unidades pueden ser instaladas en paralelo para grandes flujos de gas y en serie para eficiencias más altas (ó para ambas ventajas, en combinación paralelo-serie). Los ciclones pueden tener varias configuraciones y aún operar sobre el mismo principio básico de la separación centrífuga.

La salida de polvo puede ser con gas purgante o para sólidos unicamente, con la configuración axial ó periférica.



Ciclón.
Fig. (4).

Ciclones Múltiples.-

Principio.- El Ciclón Múltiple, es un conjunto de pequeños ciclones (254mm ó menos de diametro), los cuales están contenidos en una cámara, arreglados en paralelo con respecto a la alimentación del gas. (Fig. (5)).

Comentarios.- La mayor ventaja es la alta eficiencia ya que los ciclones de diametro pequeño son más eficientes que los grandes; La desventaja es la obstrucción de los tubos pequeños. Consecuentemente, los ciclones múltiples son diseñados en una unidad completa, con el fin de asegurar una buena eficiencia.

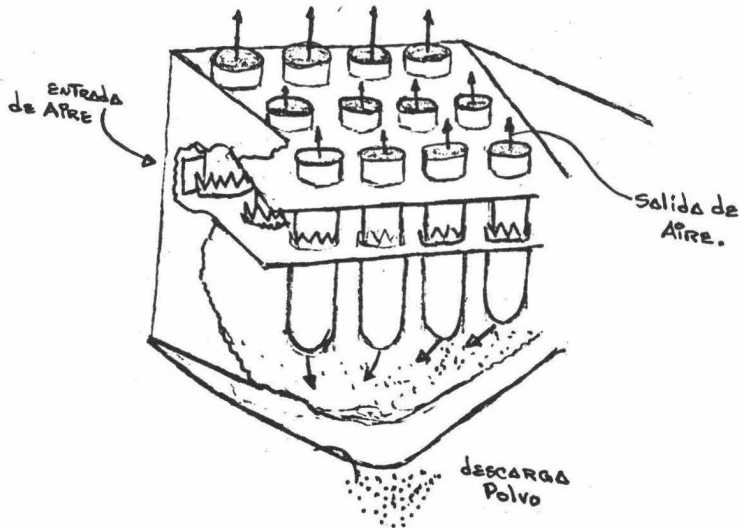


Fig. 5

Ciclones Múltiples.

Colector de Impacto.-

Principio.- La velocidad del gas es aumentada en un Venturi y por el momentum de las partículas, estas son transportadas a través de una ranura a un plato liso donde ellas caen a un colector. Las partículas de polvo son colectadas sobre una superficie, mientras que la corriente del gas es desviada alrededor de la mampara. Fig. (6).

Comentarios.- La colección de neblina es simplificada — con este tipo de colector, de este modo los líquidos se deslizan en la mampara. Estos dispositivos pueden requerir golpeadores — que liberen los polvos que se depositan sobre la superficie. Si los sólidos son viscosos, las superficies serán continuamente lavadas por agua de recirculación. (3).

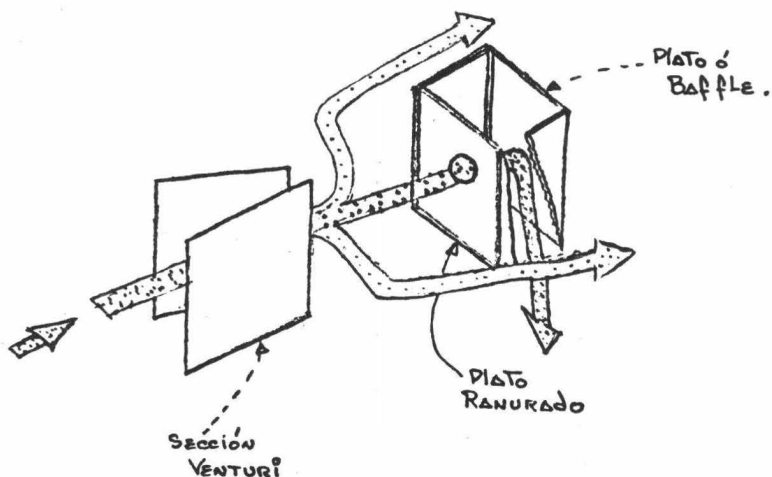


Fig. 6.

Colector de Impacto.

(detalle de una ranura)

Colector Dinámico.-

Principio.- Este es un ventilador con un impulsor - especialmente diseñado y cubierto, que emplea la fuerza centrífuga para coleccionar partículas en la periferia, donde son extraídas, por una corriente concentrada. (Fig. 7).(4).

Comentarios.- La única característica de este colector son los pequeños espacios requeridos y la baja caída de presión.

El precipitador dinámico actúa como un verdadero ventilador, aunque con eficiencias más bajas, 40 a 50% contra 60 a 65% para un ventilador diseñada simplemente para un servicio de gas.

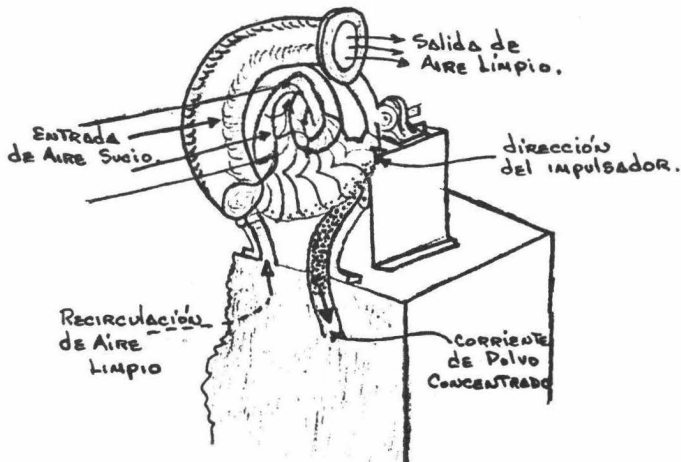


Fig. 7.

Colector Dinámico.

Filtros de Bolsas.-

Principio.- El gas sucio fluye a través de un medio poroso y deposita las partículas en los poros formando núcleos de partículas, las cuales pueden ser eliminadas de la superficie porosa, por agitación. (Fig. 8).

Comentarios.- Estos filtros proporcionan altas eficiencias, +99% siendo de dos tipos, de bolsas y de tipo cerrado, tejidos con tela ó fieltros y hechos de fibras sintéticas ó naturales.

Su principal limitación es la temperatura y el flujo de gas. El espacio requerido es grande pero puede ser aceptable, ya que el material recuperado es seco y listo para otros usos o disposiciones.

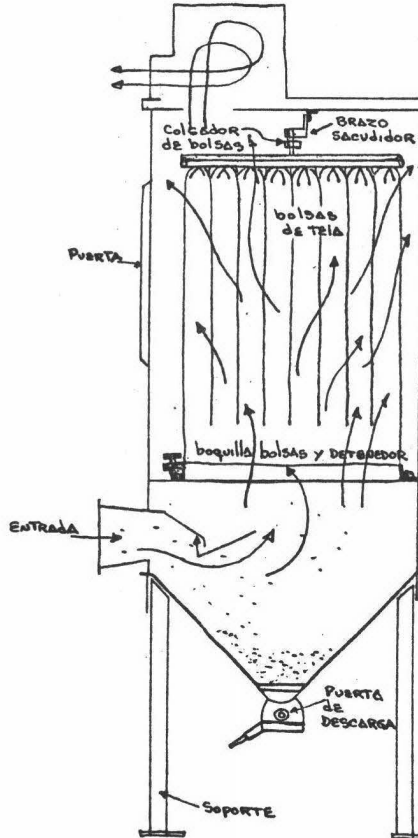


Fig. 8
Filtro de bolsas tejidas.

Precipitadores Electrostáticos.-

Principio.- El flujo de gas es introducido en una Cámara, en la cual se ioniza al pasar entre un electrodo con alto voltaje y un electrodo cargado opuestamente, las partículas de polvo son cargadas por el gas ionico y emigran a el electrodo - colector (de carga opuesta), donde ellas se adhieren y posteriormente se recolectan. (Fig.9). Los precipitadores pueden ser de dos tipos; de tubos los cuales son usados para neblinas ó gases con grandes cantidades de agua y los de platos que se usan para colección de polvo seco y grandes flujos de gas.

Comentarios.- El uso del precipitador es muy extenso y fundamentalmente se tienen dos tipos de estos:

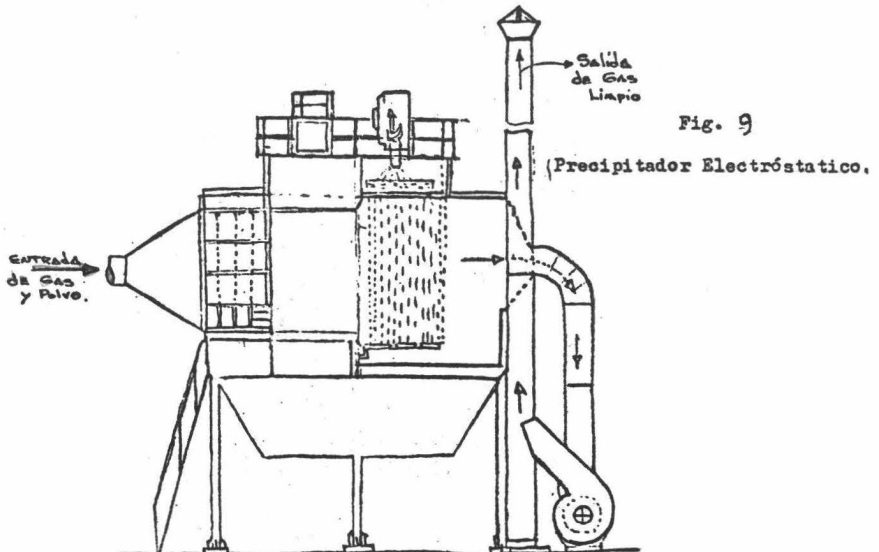
a) Fase seca; En este tipo se tienen varios factores los cuales son determinantes en su funcionamiento: temperatura, tamaño de partícula, flujo de gas y dimensiones de la placa colectorora.

Este tipo es utilizado para colección de polvo seco y grandes flujos de gas.

b) Fase Húmeda; En este tipo los factores son: flujo de gas, tamaño de partícula y forma de la placa colectorora.

Las aplicaciones más comunes son la colección de, cenizas volátiles que provienen de calderas, las cuales queman carbón pulverizado, polvo en los hornos de cemento, neblina de ácido sulfúrico, polvo en los hornos de hierro y polvo catalítico en refinerías de gasolinas.

Las eficiencias son altas; El rango de temperatura de operación es de -32 a 400°C . aunque las unidades han sido diseñadas para temperaturas de -80 ó $+600^{\circ}\text{C}$. la caída de presión es pequeña debido a velocidades bajas, pero esta hecho, para instalaciones grandes.



Lavadores Húmedos.-

Los lavadores húmedos recuperan productos en solución para disponer de ellos más tarde y presentan - las siguientes características:

- a).- El gas es enfriado y lavado.
- b).- Los gases pueden ser removidos tan bien como las partículas.
- c).- Los gases corrosivos pueden ser neutralizados por propiedades escogidas del medio de recuperación.
- d).- Los efluentes serán limpiados conteniendo en algunos casos finos impermeables, nieblas, etc.
- e).- La temperatura y las mezclas contenidas en el gas de entradas son esencialmente ilimitadas.
- f).- Los riesgos de explosión, de las mezclas de aire-polvo, son reducidos.
- g).- El equipo ocupa una cantidad moderada de espacio.

La eficiencia varía con el flujo de entrada, dependiendo de su diseño. El tamaño del equipo y su costo -- inicial son razonables, pero el costo de operación es alto, -- especialmente para altas eficiencias, las cuales requieren -- grandes consumos de potencia.

Lavador por Rociado Gravitatorio.-

Principio.- Líquido es rociado dentro del domo de la torre y las gotas caen por gravedad a través de un flujo a -- contracorriente con el gas transportador de polvo; dentro del lavador. Las partículas de polvo son colectadas principalmente por impacto inercial é intercepción. (Fig.10).

Comentarios.- La eficiencia y caída de presión son bajas, es por ello que el lavador es muy usado para cargamentos pesados de partículas ó para adsorción acompañada por extracción de sólidos.

La entrada es controlada por el uso de la baja velocidad del gas, dado el diseño de la torre rociadora; pero esto resulta solo en equipos mayores. Los rociadores son seleccionados para que proporcionen, gotas del tamaño necesario para que sean lo suficientemente pesadas para caer, oponiéndose a el flujo del gas, aún cuando ellas puedan ser reducidas en su tamaño, debido a la evaporación.

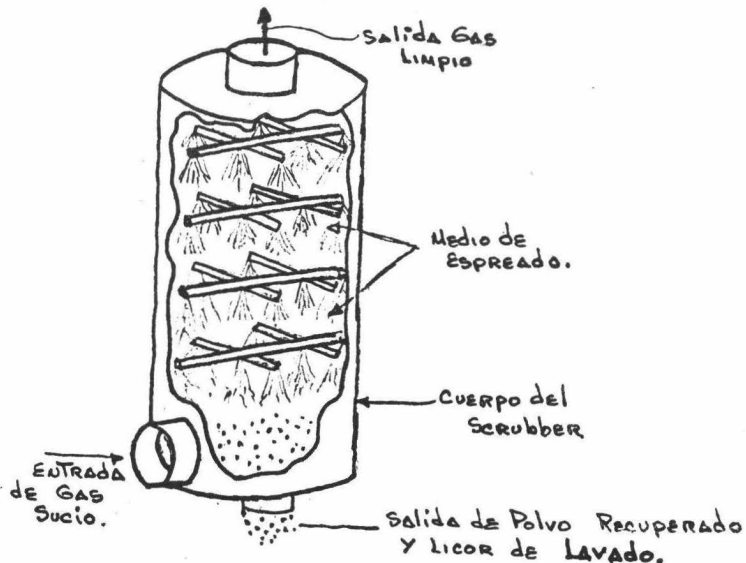


Fig. 10

Lavador por Rociado Gravitatorio.

Lavadores Ciclónicos.-

Principio.- El líquido es rociado dentro de la unidad y mezclado con el gas a contracorriente. Las partículas del gas y del líquido se combinan, siendo enviadas a los linderos de la pared por la fuerza centrífuga, precipitándose al fondo siendo un factor importante las paredes mojadas las cuales ayudan en la colección. (Fig. 11).

Comentarios.- Los lavadores ciclónicos pueden dimensionarse basándose en las diferentes formas de esparido de líquido y de acción de limpieza del gas ciclónico.

Las mamparas de veleta (Fig. 11) directos al flujo de gas convierten la velocidad en una presión. Para presiones más altas de 400 psig. el tamaño de las gotas tendrá un rango de 50 μ ó menor.

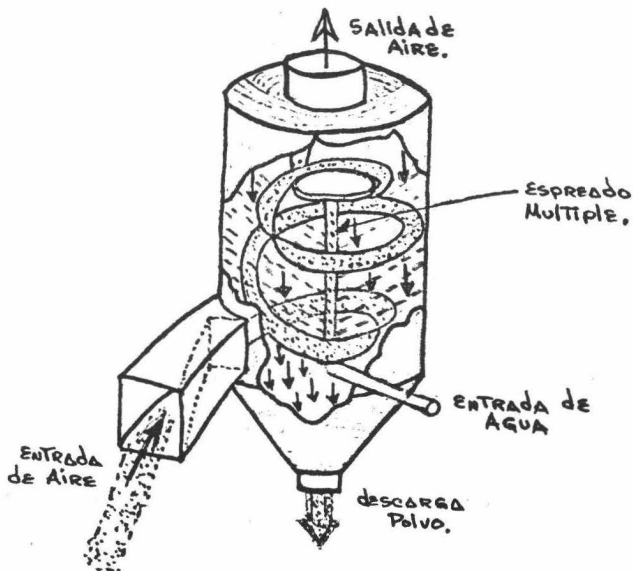


Fig. 11

Lavador Ciclónico.

Lavador de Impacto.-

Principio.- El flujo de gas transporta las partículas de polvo y las gotas de agua, dirigiéndolas a través de platos perforados, para formar la impregnación sobre las mamparas. La velocidad del gas facilita el esparcido del agua sobre los platos perforados aumentando el tamaño de las partículas lo cual facilita su colección sobre las veletas eliminadoras de niebla y son retiradas con los sólidos colectados, de el flujo de gas, en los platos de impregnación. (Fig. 12).

Comentarios.- El lavador es similar a una columna de platos, usualmente tiene de uno a tres platos, más, platos extras pueden añadirse posteriormente. El flujo es a contracorriente, - la velocidad del gas en la perforación es grande (25 M/seg. ó más) y es usado para la atomización de el líquido sobre el plato.

La obstrucción de las perforaciones, las cuales pueden ser de 0.635cm (0.25in) ó menores, no es un problema como podría esperarse, debido a la buena agitación, como el rociado húmedo los lados inferiores del plato, los gases solubles son eliminados dentro del equipo junto con los polvos.

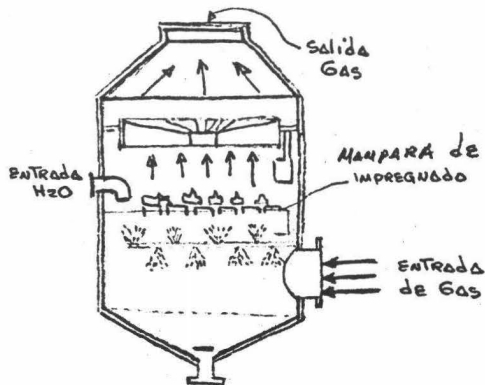


Fig. 12.

Lavador de Impacto.

Lavador de Lecho Empacado.-

Principio.- El lecho empacado húmedo tiene una superficie de impregnación que evita la recirculación, siendo el licor el que separa el polvo del gas, transportandolo en una suspensión ó solución. (Fig. 13.).

Comentarios.- El lecho empacado puede ser fijo ó móvil, formado de esferas de baja densidad. Los gases absorbidos son menores del 1% por volumen.

Como las torres empacadas operan a contracorriente, los sólidos tienden a tapar el empaque y los platos soportados, lo cual es una gran desventaja, ya que requieren una operación de limpieza periodica.

Las ventajas son: bajo costo, simplicidad y resistencia a la corrosión.

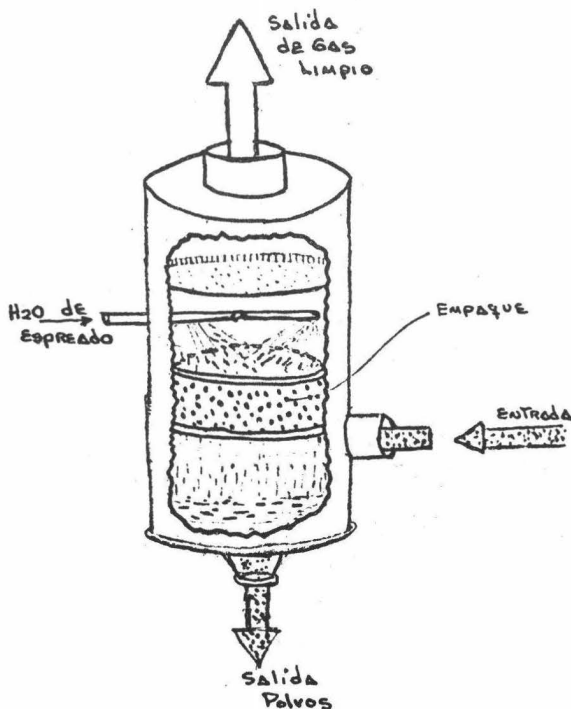


Fig. 13.

Lavador de Lecho Empacado.

Lavador Dinámico Húmedo.-

Principio.- El líquido es esreado mecánicamente para transformarlo en finas gotas y así colectarlas junto con las partículas de polvo por impacto inercial. (Fig.14).(4).

Comentarios.- En la forma más simple del lavador dinámico, el agua es rociada dentro de la succión de un ventilador y el impulsor humedecido evita la recirculación de las partículas de polvo. La eficiencia es alta para partículas finas.

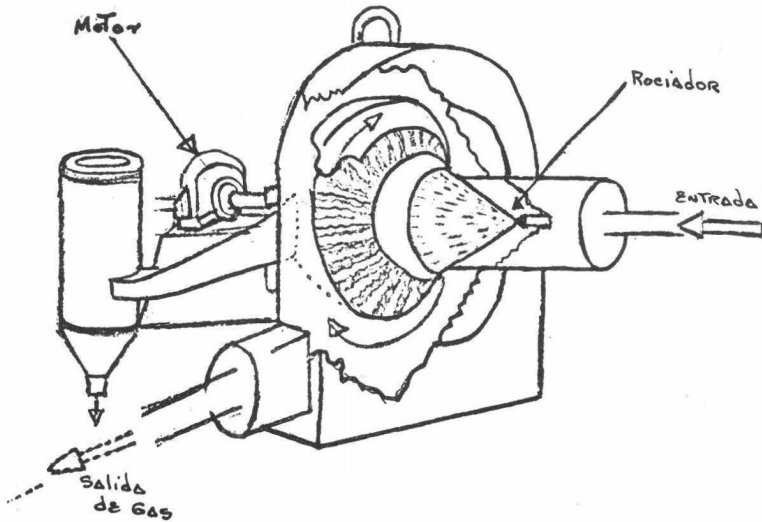


Fig. 14

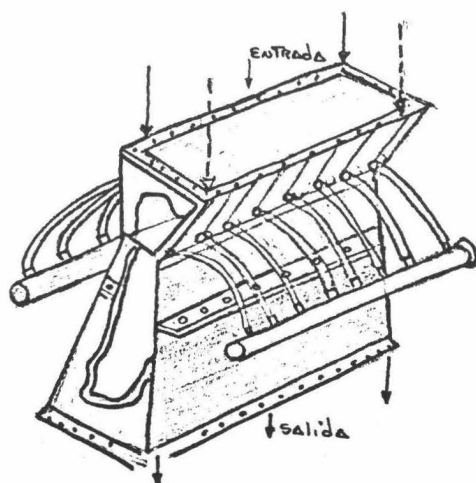
Lavador Dinámico Húmedo.

Lavador Venturi.-

Principio.- El agua es introducida dentro de la sección de la garganta y atomizada por la corriente del gas a alta velocidad, originando la formación de núcleos condensados de partículas sobre las gotas (de 50μ ó más). Fig. 15.

Comentarios.- El lavador venturi puede ser diseñado para grandes caídas de presión.

El agua se introduce por espray sobre el flujo. La eficiencia se acerca al 100% con un tamaño de partícula de 2μ . El equipo es simple y puede ser fabricado en una gran variedad de materiales para resistir la corrosión.



(+) DETALLE DE LA GARGANTA.

Fig. 15

Lavador Venturi.

II.-3.- Selección del equipo de control más adecuado, en la Industria de la Celulosa.

La selección del equipo colector, más adecuado para el control de la contaminación atmosférica en la fuente de emisión se debe basar en la obtención de una información preliminar que debe contener, cuando menos los siguientes datos:

Carga de polvos al colector.

Rango de Partículas.

Flujo de gas en las condiciones de entrada.

Temperatura del gas de entrada.

Humedad del gas.

Emisión permisible del colector.

Concentración de polvos.

Los cálculos del balance de materiales para la eficiencia de recuperación, pueden usarse para determinar la carga de polvos en el colector.

El rango ó tamaño de las partículas debe ser determinado por muestreo.

Por otra parte, el "Reglamento para la Prevención y control de la Contaminación del aire para polvos y humos", fija la emisión de partículas permisibles para un peso de proceso determinado; por lo que esta emisión de partículas determina la eficiencia del colector por emplearse.

Cálculo de la eficiencia del colector de polvos, necesario en la Industria de la Celulosa, de acuerdo a los datos proporcionados por una fábrica de papel y celulosa, los cuales son:

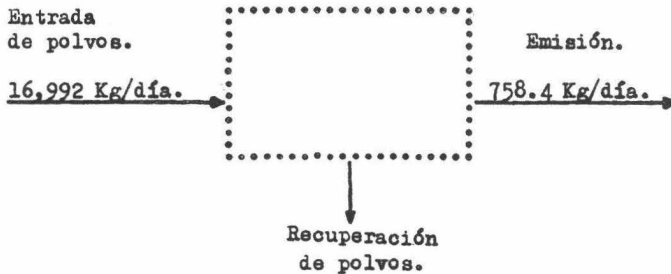
- a).-Carga máxima de polvos al colector..... 11.8Kg/min.
- b).-Rango de partículas..... 2 a 10 micrones
- c).-Flujo de gas en las condiciones de entrada..... 2,950 m³/min.
- d).-Temperatura del gas de entrada..... 150 a 160 °C
- e).-Humedad del gas..... —————
- f).-Emisión permisible del colector..... 0.526 Kg/min.
- g).- Concentración de polvos..... 0 a 4 g/m³

Carga máxima de polvos = 11.8 Kg/min. = 16,992 Kg/día = 1.73 granos/ft³
 11.8 Kg/min. x 60 min./hr. x 24hr./día = 16,992 Kg/día.

11.8 Kg/min. x 1lb/0.45Kg. x 7,000 granos/lb. x $\frac{1}{2950 \text{ m}^3/\text{min}}$ x $\frac{1}{35.5 \text{ ft}^3/\text{m}^3}$ = $\frac{1.73 \text{ granos}}{\text{ft}^3}$

Emisión permisible = 758.4 Kg/día. (II-3)-1

Diagrama de Flujo:



Balance de Materia:

Entrada - Salida = Recuperación.

16,992 Kg/día - 758.4 Kg/día = 16,233.6 Kg/día.

∴ la eficiencia del colector debe ser:

$$E = \frac{\text{Recuperación}}{\text{Carga de Polvos}} \times 100$$

$$\frac{16,233.6}{16,992} \times 100$$

$$E = 95.6 \%$$

Para la selección se tomara el diametro mínimo de las partículas que en este proceso es de 2 micrones. Y refiriendonos a la tabla I-II-2, nosotros podemos elegir los siguientes tipos de colectores:

Tabla No. (1-II-3)(3).

Equipo de Colección de polvos.

Tipo de colector	Tamaño de partícula micrones	Carga <u>grans</u> M ³	Eficiencia de colección %	Rango limite de flujo de gas en Miles de ft ³ /Min. M ³ /Min.	
Jet.	0.5-5	0.1-2	90	100	30.5
Venturi.	0.5-200	0.1-2	99	100	30.5
Filtro de bolsas.	0.2-200	0.1-2	99	200	61
Precipitador Electro- tático.(seco).	2.0 en adelan te.	0.1-2	99	10-2000	3.05-609
Lavador dinámico Húme- do.	1-100	1-2	98	50	15.25

Ya que se requiere una eficiencia igual a 95.6 % y la recuperación del producto se requiere sin humedad (tratando de evitar la corrosión en el Equipo), para recircularlo o utilizarlo posteriormente; Los colectores Jet, Venturi y Lavador dinámico húmedo que como se dijo anteriormente el agua juega un papel importante en su funcionamiento, no satisfacen uno de los requisitos de la recuperación, por lo cual quedan eliminados de esta selección.

Selección Final:

En esta selección final tomaremos en cuenta dos factores:

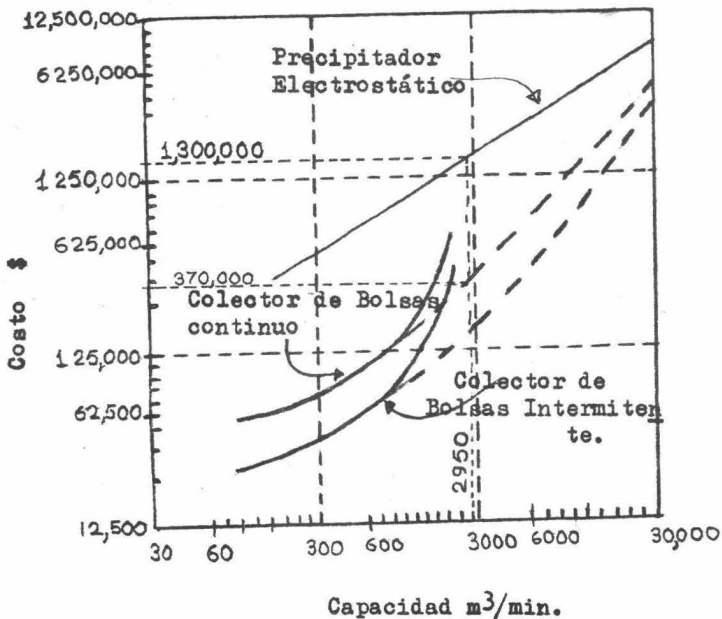
- a).- Costo del Equipo.
- b).- Costo de Limpieza del gas.

Costo del Equipo.- El sistema de costos para su evaluación incluye:

- 1.- Costo del Equipo.
- 2.- Costo del Flete.
- 3.- Costo de Instalación.
- 4.- Costo del Ing. Civil.
- 5)-Equipo auxiliar
- 6)-Preparación del terreno.
- 7)-Instalación.

Los costos mostrados en la Fig. I-II-3 son precios de equipo de colección de polvos.

Fig. I-II-3 (2).



Estos costos pueden ajustarse cuando se requiere de un material especial de construcción y para cualquier tipo de colector, el precio podrá variar, dependiendo del derecho de aduana requerido.

Costo de limpieza del gas.-

Una comparación económica de estos dos colectores, (filtro de bolsas y Precipitador Electrostático), se mostrará en la siguiente tabla, (2-II-3)(2).

Tabla (2-II-3)(2).

Costos de limpieza de Gas.

Tipo de Colector	Flujo de Gas M ³ /min.	Costo del Equipo \$	Eficiencia %	Costo de instalación \$
Precipitador Electrostático (seco)	2,950	1'300,000	99.0	2'912,500
Filtro de Bolsas		370,000	99.0	1'900,000
	Costo de Potencia \$/año	Mantenimiento \$/año		
Precipitador Electrostático (seco).	25,000	16,250		
Filtro de Bolsas	42,250	118,750		

Si además efectuamos la siguiente Comparación de Costos:

	Precipitador Electrostático.	Filtro de Bolsas.
INVERSION FIJA=		
Costo del Equipo.	1'300,000	370,000
Instalación de Equipo.	2'912,500	1'900,000
Tubería.	130,000	296,000
Instrumentación.	65,000	148,000
Equipo Electrico.	195,000	92,500
Aislante.	65,000	37,000
Edificio (1200\$/M ²)	12,500	50,000
Terrenos (500 \$/M ²)	76,800	384,000
Servicios.	65,000	277,500
Costo Físico del Proceso.	4'821,800	3'555,000
+ Ingeniería y Construcción	723,270	1'777,500
Costo directo del proceso.	5'545,070	5'332,500
+ Ganancia del Contratista	443,605	426,600
Contingencias.	554,507	533,250
INVERSION FIJA =	6'543,182	6'292,350

	Precipitador Electrostático	Filtro de Bolsas.
CAPITAL DE TRABAJO -		
Supervisión.	72,000	144,000
Mano de Obra.	21,600	86,400
Mantenimiento.	16,250	118,750
Costo de Potencia.	25,000	42,250
+ Servicios de planta.	—	123,750
Depreciación.	130,000	37,000
Impuestos.	9,360	20,880
Transportes.	—	140,000
Seguro Social.	4,680	11,520
	<hr/>	<hr/>
CAPITAL DE TRABAJO -	278,890	724,550
INVERSION TOTAL -		
INVERSION FIJA	6'543,182	6'292,350
+ CAPITAL DE TRABAJO.	278,890	724,550
	<hr/>	<hr/>
INVERSION TOTAL -	6'822,072	7'016,900

El Valor de la Recuperación -

$$16,233.6 \text{ Kg/día} \times 0.70 \text{ \$/Kg} = 11,363.52 \text{ \$/día.}$$

$$11,363.52 \text{ \$/día} \times 350 \text{ días/año} = \underline{3'977,232.00 \text{ \$/año.}}$$

Rentabilidad Anual % -

Valor de la recuperación	3'977,232	3'977,232
- Capital de Trabajo.	278,890	724,550
	<hr/>	<hr/>
Inversión Total %	6'822,072	7'016,900
	<hr/>	<hr/>
RENTABILIDAD ANUAL % -	54.21 %	46.35 %

De el analisis de los datos anteriores, seleccionaremos el equipo colector, cuyos gastos de operación, mantenimiento, inversión total y rentabilidad sean los más adecuados y economicos para el mismo proceso de recuperación.

Y de acuerdo a sus características vistas ya anteriormente, podríamos hacer notar que:

- . El precipitador es una unidad compacta, del tamaño necesario. Cuyo mantenimiento es mínimo y ocupa un espacio reducido.
- . El Filtro de Bolsas es una unidad formada por un cierto conjunto de filtros (bolsas, diseñadas para un cierto flujo de gas) cuyo número y tamaño dependeran del flujo de

gas a tratar, por lo que se necesita un espacio mayor - para su instalación y su costo de mantenimiento es mayor en relación al uso de un precipitador electrostático.

Además el Filtro de Bolsas es utilizado principalmente para determinadas volúmenes de gas, por lo cual, para el flujo de gas originado en el proceso, se necesitarían instalar 2 o más de estos equipos para obtener la eficiencia requerida.

De lo anteriormente expuesto se nota la conveniencia de instalar un precipitador electrostático, como el Equipo de Control más adecuado para el abatimiento de la contaminación ambiental - en la Industria de la Celulosa.

CAPITULO III

III.- Teoría de la Precipitación Electróstática.

La precipitación electróstática es frecuentemente llamada el Proceso Cottrell por ser Frederick Gardner Cottrell (1877-1948) quién diseño y construyo el primer precipitador comercial, con buenos resultados.

La primer referencia que se menciona acerca del fenomeno de atracción electróstática, la cual forma la base para la acción de precipitación en un precipitador electróstático, es atribuida a Thales de Miletus alrededor de 600 años A.C. (El noto que un pedazo de ambar que ha sido frotado atrae, pequeñas fibras).

Después Cottrell probó que la precipitación eléctrica, podría ser aplicada a la colección de contaminantes sólidos industriales en el aire.

El uso de la precipitación electrostática se ha expandido. La tabla I-III proporciona algunas de las primeras instalaciones.

Tabla I-III.- (1)

Instalaciones de precipitadores en diversos campos de aplicación.

Aplicación	la. instalación	No. Precipitadores.
Industria eléctrica:	1923	730
Industria Metalúrgica:		
Cobre zinc y plomo	1910	200
Industria del acero	1919	312
Fundido del aluminio	1949	88
Industria del cemento	1911	215
Fabricas de papel	1916	160
Industria Química	1907	500
Tratado de gas de combustión	1915	600
Carbón negro	1926	50
T o t a l		2,855

Cottrell fué de los primeros en demostrar la practicabilidad de este principio para el control de los contaminantes - en emisiones industriales; algunas de sus aplicaciones se proponen a continuación.

Tabla 2-III.- (2)

Aplicaciones de Precipitadores Electrostaticos.

Origen.	Transporte de partículas.	Partículas	Proposito de la Precipitación.
Industria del Hierro:			
secador rotatorio	gases de combs.	Oxidos de hierro.	recuperación.
secador rotatorio	gases de combs.	polvo de coque.	recuperacion, y eliminación de polvo.
Formación del Hierro.	aire	hierro coque, etc.	eliminación de polvo.
Industria de Fundición:			
Transformación del - cobre	salida de gases conteniendo SO ₂	Oxido del metal.	recuperación.
Industria del plomo	" "	oxido de plomo.	recuperación.
Horno de Calcinación	" "	oxido de níquel	recuperación.
Industria Química:			
Horno de calcinación de pirita.	gases quemados	As ₂ O ₃ , SeO ₂ H ₂ SO ₄	Pre-tratamiento.
Nitración de Celulosa.	aire	HNO ₃ (conc.)	recuperación.
Re-hervidores en plantas de soda.	Gas de combs.	Na ₂ SO ₄	recuperación.

Tabla 2-III (continuación)

Industria del <u>cemen</u> to y Cerámica.			
secador rotatorio	gases de combs.	Kaolin	recuperación.
molino de escorias	aire	cemento	recuperación.
horno de cemento	gases de combs.	cemento aglomerado	eliminación de polvo.
Industria de Gas y - de Aceite.			
planta de gas	gas carbonico	brea ó al quitran.	pre-tratamien to.
prod. de gas	gas producido	brea y -- hollín	pre-tratamien to y recupera- ción.
Generales.			
Pulverización de carbón.			
Quemado en hervidores de vapor.	gases de combs.	polvos de combustión	eliminación de polvos.
Fundición	aire	polvo de arena, etc.	eliminación de polvos.
molino de minera-- les.	aire	polvo de mineral.	eliminación de polvos.

Los mecanismos envueltos en el proceso de separación son:

- a).- En la separación por Precipitación electrostática de polvos ó partículas suspendidas en un gas, se aplica una fuerza capaz de dirigirlas hacia una superficie de colección, esta fuerza de dirección se debe a la intensidad del electrodo emisor, el cual formara una corona de descarga de electrones a su alrededor, que al paso del -- gas por esta corona se formara la ionización del mismo, generando una carga electrostática en las partículas en suspensión.

- b).- Las partículas sólidas o líquidas son cargadas por bombardeo, por los gases iónicos ó electrones y son sujetas a -- las fuerzas de separación, cuando ellas entran dentro del campo de un electrodo de carga opuesta. (3).
- c).- El campo electrostático origina que las partículas cargadas emigren a un electrodo colector de polaridad opuesta.
- d).- La carga sobre una partícula es neutralizada por el electrodo colector, depositandose por gravedad en el fondo del precipitador

III.1.- Tipos de precipitadores electrostáticos utilizados en la separación de partículas.

Para diferentes fines y bajo las más severas condiciones de servicio, los precipitadores electrostáticos han mostrado — ampliamente sus inmejorables cualidades.

Se puede suministrar para cada caso, el tipo de precipitador electrostático que mejor se adapte a las características requeridas. Los principales factores para determinar el tipo — más adecuado son los siguientes:

- a).- Proceso en el que se empleará el precipitador.
- b).- Características y temperatura del gas.
- c).- Propiedades de las partículas por colectar.
- d).- (en determinados casos) - Espacio disponible.

Existen hoy en día de acuerdo al tipo de separación de — partículas de precipitadores electrostáticos y se proporcionan en la tabla I-III-1.

Tabla I-III-1 (1)
Tipos Principales.

Precipitador - Electrostático. para separar:	Campo de aplicación.	Tipo	Cámara de precipita ción.	Tempe- ratura Máxima.
Partículas Sólidas.	Para separar virtual mente toda clase de polvos, de los gases de combustión de di- versos tipos de cal- deras de vapor y hor- nos.	A	Chapa	450
	Para limpieza de ga- ses procedentes de - procesos metalúrgi- cos.	A	Reventimien to de ladri llo.	450
		A	Chapa	
Partículas Líquidas.	Para separación de - nieblas, especialmen te de alquitrán. Se puede utilizar inclu so para limpieza de gases corrosivos.	B	Chapa	125
	Para separación de - nieblas de ácido sul- fúrico y óxidos de - gases de combustión.	B	Plancha de plomo	
		B		

TABLA I-III-1. (continuación)

partículas tanto sólidas como líquidas.	Para partículas líquidas ó sólidas - que no se pueden desprender de los electrodos por sacudimiento.	A	Chapa ó hormigón.
-----------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	-------------------

1.- Precipitadores Electrostáticos para Separación de Partículas Sólidas.

Placas -

La disposición de principio de los precipitadores electrostáticos tipo A, se muestra en la Figura I-III-1. En este tipo de precipitador electrostático, el gas circula horizontalmente y además los sistemas emisor y colector, así como los dispositivos de golpeo y de distribución del gas, son de la misma ejecución.

Todo el sistema de emisión está firmemente suspendido y constituye una unidad estable. Esto trae consigo que los electrodos de emisión se encuentren siempre en posición correcta respecto de los electrodos colectores. De esta manera se puede mantener la alta tensión en el precipitador electrostático con el mínimo riesgo posible de descarga disruptiva, lo que es de mayor importancia para la capacidad de separación y la seguridad del servicio.

El dispositivo de golpeo para los electrodos es del "Tipo de martillo", y a excepción del mecanismo de accionamiento, está enteramente montado en el interior del precipitador electrostático. Este sistema de martillos trabaja continuamente por lo que no es preciso ningún trabajo manual o dispositivo automático para la conexión y desconexión. Además se consigue que el dispositivo de descarga trabaje con carga uniforme.

La cantidad de golpes por unidad de tiempo, puede adaptarse a las necesidades del momento, y del mismo modo se puede regular la fuerza del golpe de acuerdo con la naturaleza de la materia depositada.

Nunca se produce golpeo simultáneo de dos hileras de electrodos, ni de dos electrodos adyacentes en sucesión inmediata.

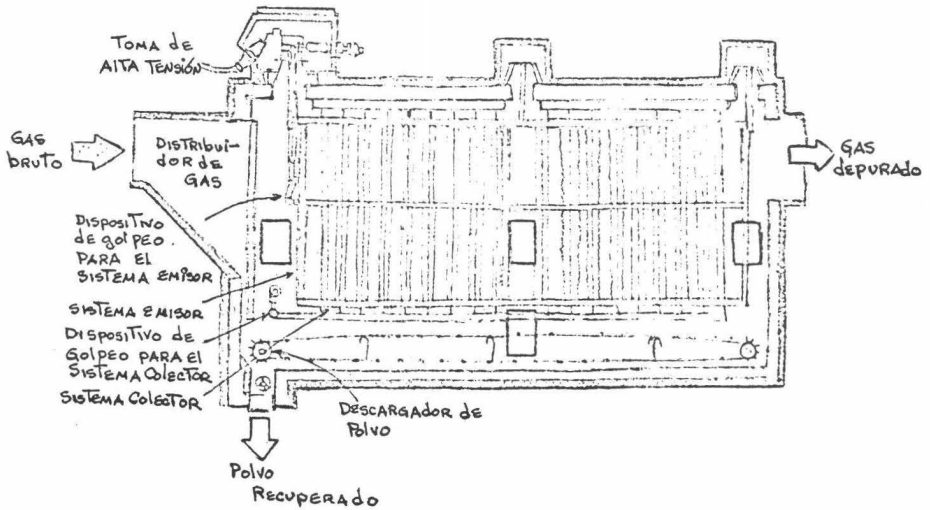
Además de esto, el polvo, en cada momento llega solamente de uno de los costados de los conductos de gas, y es eliminado de la corriente de gas antes de que se produzca el golpe siguiente.

disruptiva?

Este sistema de golpes es el que ha proporcionado al precipitador electrostático, su extraordinaria seguridad en el servicio. Se eliminan además los inconvenientes de las bocanadas de partículas en la salida de gases.

Fig. I-III-1.

Precipitador electrostático para separación de partículas sólidas.



Los dispositivos de distribución del gas son de fácil ajuste y se puede variar su posición.

El precipitador electrostático tipo A, tiene una cámara de precipitación de 3 ó de 5 milímetros de espesor. Los aisladores son de porcelana para temperaturas hasta 190°C, y de cuarzo para temperaturas superiores.

También puede tener, una cámara de precipitación de hormigón ó una cámara de precipitación revestida interiormente de ladrillo resistente a los ácidos. La envoltura exterior es de chapa de hierro o de hormigón. El techo lo constituye un armazón de viguetas de hierro, con las que se sueldan chapas de hierro de 5mm de espesor para cubrir el conjunto. Esta construcción elimina el riesgo de fugas. El techo y las cámaras de alta tensión se aíslan con lana de vidrio o lana mineral, y este aislamiento térmico no se interrumpe en ninguna parte, tales como viguetas o fijaciones, por lo que no existen superficies frías que puedan originar condensaciones. Las cámaras de alta tensión están provistas de dispositivo de caldeo, y los aisladores son de cuarzo.

2.- Precipitadores Electrostáticos para separación de Partículas Líquidas.

En los precipitadores electrostáticos tipo B, el gas circula verticalmente. En este tipo, los electrodos colectores son cilindros concéntricos, y los electrodos de emisión están tensados en los callejones entre los cilindros. Los aisladores son de porcelana y se calientan por medio de vapor o electricidad. No se precisa ningún dispositivo de golpeo, ya que las gotas líquidas se desprenden por sí mismas de los electrodos colectores, y se reúnen en el fondo de la cámara, donde hay un sifón para el desagüe.

El precipitador electrostático tipo B tiene una cámara de precipitación de chapa de hierro o de material resistente a los ácidos. Aunque también puede tener una cámara de precipitación con un armazón suspendido de hierro y todas las partes que están en contacto con el gas son de plomo o están revestidas de dicho material.

Este tipo de precipitador también se le conoce con el nombre de precipitador de fondo húmedo y su aplicabilidad es muy limitada debido a efectos de corrosión, que se presentan tanto en los electrodos emisores como en los cilindros concéntricos ó placas colectoras.

falta figura?

3.- Precipitadores Electrostáticos para Separación de Partículas tanto Sólidas como Líquidas.

En el precipitador electrostático tipo A, el gas circula horizontalmente. El sistema de emisiones es de la misma construcción que el de los precipitadores electrostáticos para separación de partículas sólidas, a excepción del dispositivo de golpeo, ya que en el tipo A se substituye por rociado con agua.

Los electrodos colectores son planchas planas.

Los electrodos de emisión se rocían intermitentemente por hileras de boquillas. El rociado de los electrodos colectores se efectúa por aspersión con agua finamente pulverizada, la cual arrastra la materia depositada. También se rocían la entrada y el dispositivo de distribución de gases.

El agua y la materia depositada fluyen juntas al fondo de la cámara, donde hay un sifón para el desagüe. Si existe el peligro de congelación, se provee el fondo de la cámara de serpentines para calentamiento con vapor.

III.2.- Selección del precipitador más adecuado en la Industria de la Celulosa. en el proceso kraft.

En la manufactura de la pulpa al sulfato ó proceso - Kraft, figura - (1-III.2) los alcalis que se utilizan para - el tratamiento de la madera, son recuperados por combustión del licor negro en un horno de recuperación. La alta temperatura de combustión causa la vaporización de una gran parte de las sustancias químicas, formando partículas de polvo en el rango del submicrón, en el flujo de gas.

La operación de recuperación es muy importante en la economía del proceso Kraft y predice el uso de colectores de alta eficiencia, como los precipitadores electrostáticos, ya que recuperan, del 90 al 98 %, de los alcalis(1), generalmente el sulfato de sodio puede recuperarse del flujo de gas y recircularse al proceso.

La emisión de partículas del horno de recuperación - en el proceso al sulfato, se compone de sales alcalinas principalmente de sulfato, de sodio y otros constituyentes en la siguiente relación: (2).

todo

Constituyente.	% en peso.
Na_2SO_4	75 - 90
Na_2CO_3	7 - 22
NaCl	1 - 1.5
S=	0.5 - 1
Na_2SO_3	0.1 - 0.2

Una importante propiedad para seleccionar un precipitador electrostático, es la resistividad eléctrica del polvo, que va a ser manejado. (3).

Resistividad Eléctrica.

$$\rho = \frac{E}{j} = \frac{\text{Campo Eléctrico}}{\text{Densidad de Corriente.}}$$

La figura (2-III-2), muestra la resistividad eléctrica de algunas sales (medidas en laboratorio) (2), los resultados fueron obtenidos unicamente de 1-2% de mezcla en el aire. La figura (3-III-2), muestra la resistividad eléctrica de sulfato de sodio como una función de la mezcla en el gas a 150°C -- (medidas en el laboratorio).

Hay poca información considerable sobre la resistividad de las sales, y los datos presentados aquí, unicamente sirven como una guía.

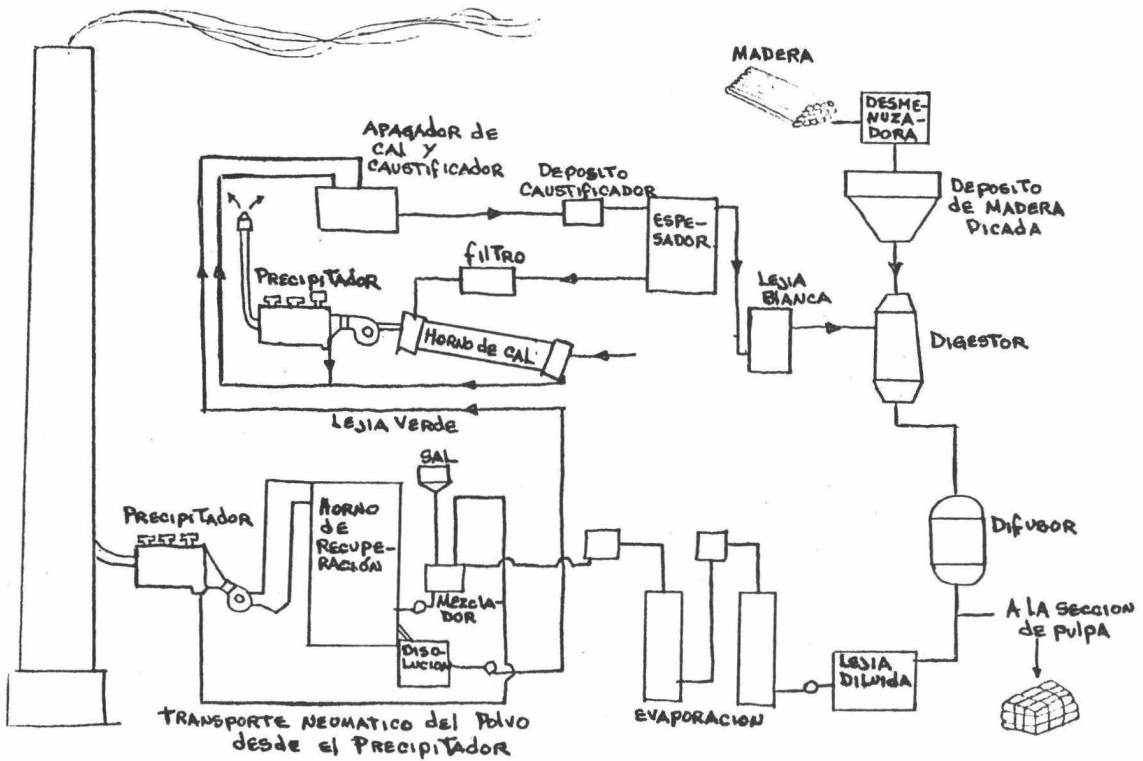


Diagrama de Flujo en la fabricación de pulpa al sulfato
 Figura 1-III.2

En general la mezcla contenida en los gases de salida de la caldera de recuperación es del orden de 20 - 40% de las sales, entonces podría esperarse una resistividad de 10⁹ ohms-cm.

Desarrollo Historico de precipitadores electrostáticos para hornos de recuperación:

El uso de la precipitación electrostática para la colección de emisiones de partículas provenientes de el horno de recuperación comenzo un poco después de 1930. Siguiendo esta introducción en 1939, el precipitador electrostático de fondo seco, ilustrado en la figura (I-III-I), fué utilizado en todas las instalaciones de precipitación hasta 1948, cuando el precipitador de "fondo húmedo" fué introducido.

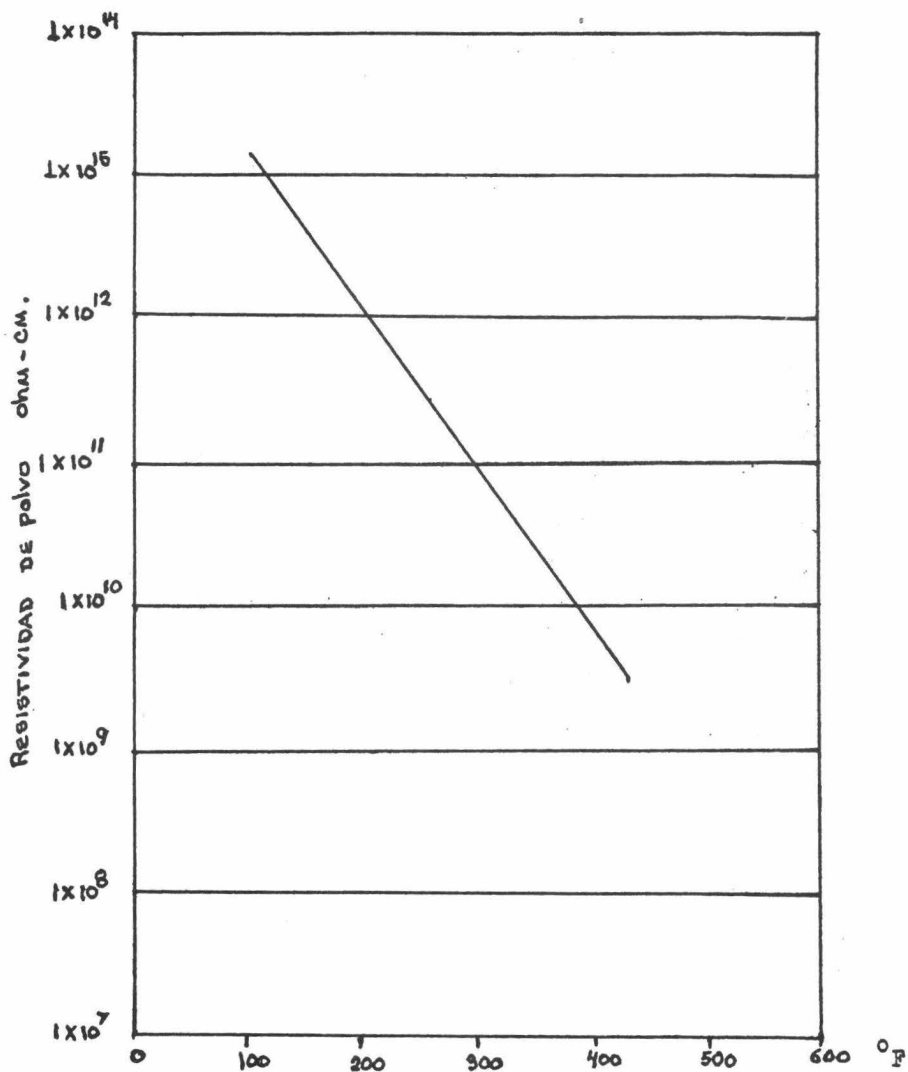
En los precipitadores de fondo seco, la parte inferior se construye en forma de caja con fondo plano, sobre el cual trabaja un dispositivo transportador del polvo acumulado. La materia depositada se extrae y se transporta a una mezcladora con lejía negra, desde la cual se lleva — — — la mezcla materia-lejía a la caldera por medio de una bomba.

El precipitador de fondo húmedo, fué diseñado para evitar problemas asociados con la colección y redisolución de las sales.(3).

Para vencer los problemas especiales que se presentan en estos precipitadores, se debe proveer de un buen aislamiento calorífico anticorrosivo. En las interrupciones de trabajo debe circular aire caliente por el precipitador, lo que se consigue mediante una unidad de calefacción que se anexa en el precipitador electrostático. Frecuentemente se construyen de acero inoxidable las partes especialmente expuestas a corrosión y de aluminio los electrodos colectores.

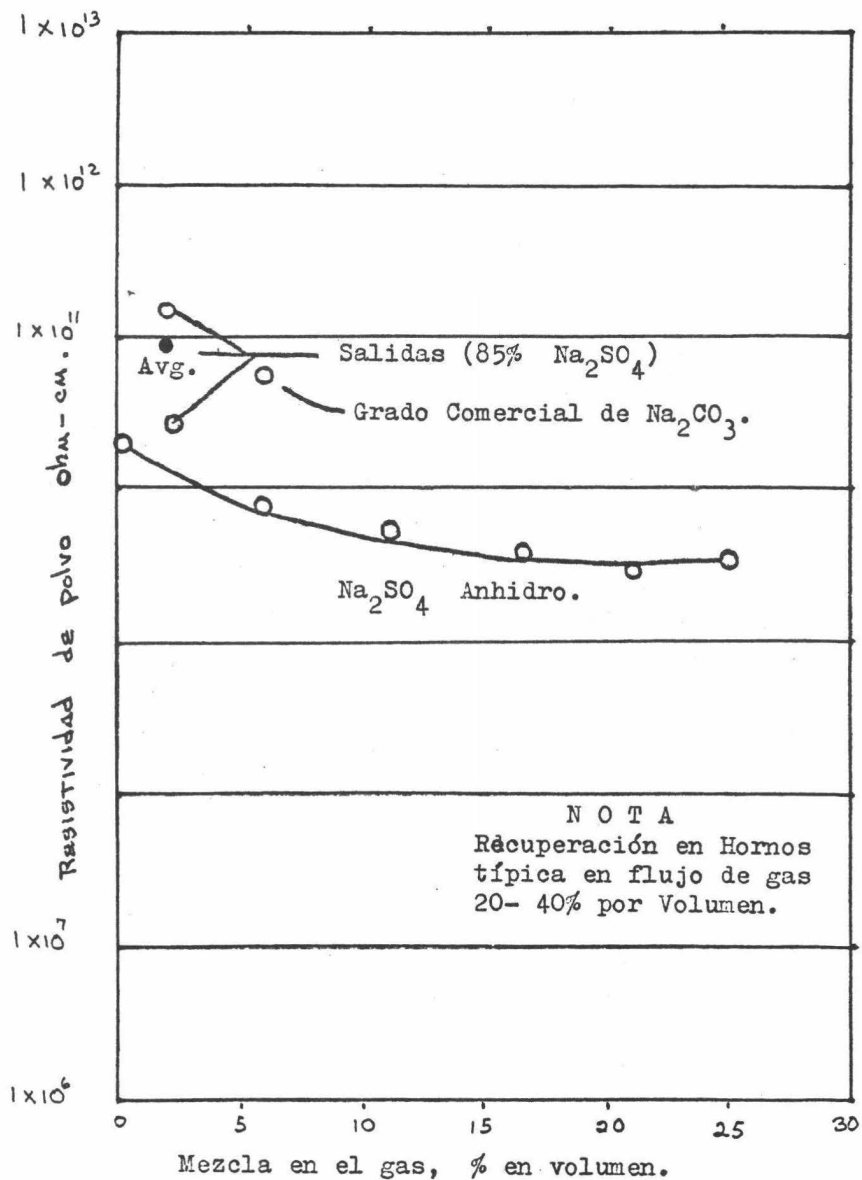
Como se ha mencionado anteriormente por la naturaleza de las partículas de polvo, que provienen del horno de recuperación, no es aconsejable un precipitador de fondo húmedo ya que se requeriría un abatimiento de la temperatura y un mayor gasto de agua y además esta en contra de uno de los requisitos que es: la recuperación de polvos secos, por lo tanto nos inclinamos por el uso de un precipitador electrostático de fondo seco, basandonos en lo antes dicho.

Figura 2-III-2)



Resistividad Electrica de Sales. (2)
(medidas en laboratorio de 1-2% de mezcla en el gas).

Figura 3-III-2



Resistividad Electrica de Sulfato de Sodio como una Función de la Mezcla en el Gas a 150°C . (medidas en el laboratorio). (2).

III.3. Operación y Factores que lo alteran.

Principio de Operación.-

El precipitador electrostático basa su funcionamiento en la utilización de las fuerzas que se originan, en los cuerpos cargados eléctricamente cuando estos se encuentran en suspensión en un gas, entre dos electrodos conectados a corriente continua de alta tensión. El electrodo negativo (emisor) tiene un pequeño radio de curvatura, (puede ser por ejemplo un hilo) mientras que el positivo (colector) tiene un radio de curvatura grande, (por ejemplo un tubo o una placa).

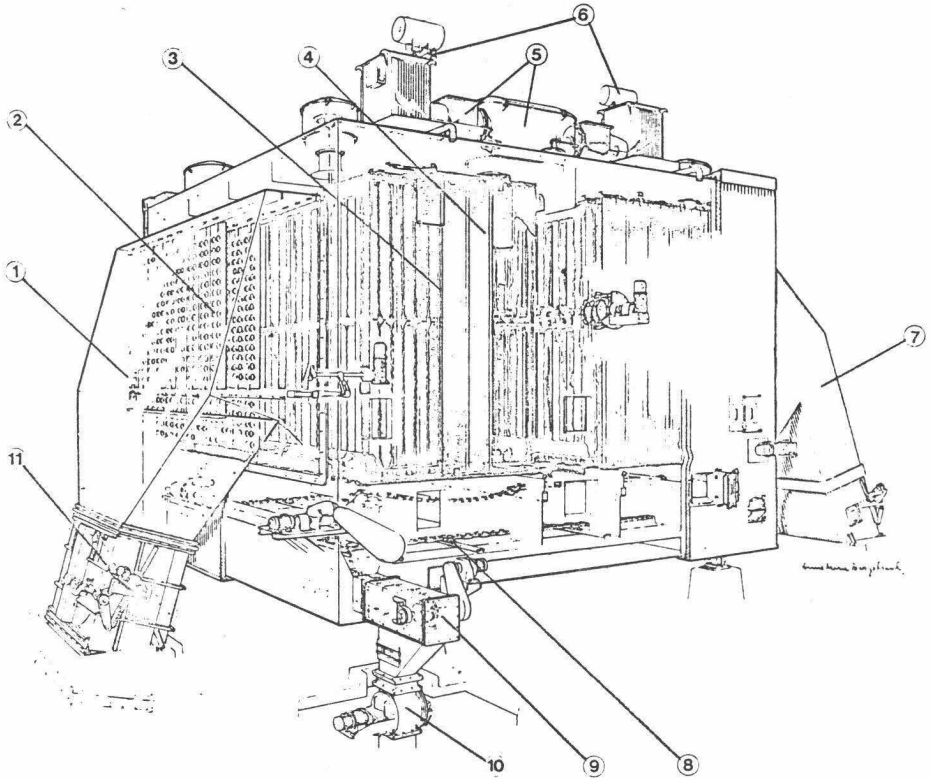
A consecuencia de su pequeño radio de curvatura, la alta tensión crea un intenso campo eléctrico alrededor del electrodo emisor. La fuerza de este campo es tan grande, que el electrodo negativo emite electrones, que se dirigen hacia las partículas contenidas en el gas a las que cargan negativamente, y como consecuencia, éstas son atraídas hacia el electrodo colector positivo. Mediante ionización de impulsos y otros procesos, una pequeña cantidad de partículas puede cargarse positivamente, por lo que un pequeño número de partículas se depositan también en el electrodo emisor. Las partículas ceden su carga a los electrodos y se separan de los mismos mediante golpeo ó desagüe. (1).

La corriente continua de alta tensión se obtiene con un equipo rectificador que se compone esencialmente de un transformador de alta tensión alimentado por la red, a través de un transformador de regulación. La alta tensión alterna en el lado secundario del transformador se rectifica y la tensión de corriente continua obtenida de esta forma, se conecta a los electrodos del precipitador electrostático. (2).

Un precipitador electrostático se puede dimensionar prácticamente para cualquier grado de separación y tamaño de partículas que se desee.

Las características esenciales en el diseño de un precipitador, se muestran en la figura (1-III-3), y son: (1).

Fig. I+III-3 (1).
Precipitador Electrostático.



- 1.- Embudo de entrada.
- 2.- Placa de distribución de gas.
- 3.- Electrodo de descarga.
- 4.- Electrodo de colección.
- 5.- Estructura aislada.
- 6.- Rectificadores.
- 7.- Embudo de salida.

- 8.- Transportador de -
- 9.- cadena.
- 10.- Alimentador rotatorio.
- 11.- Válvula de flujo de gas.

El sistema de descarga consiste de un armazón soportado por cuatro aisladores. Los electrodos de descarga son alambres en forma de espiral, que están suspendidos en el armazón, y que ofrecen las siguientes ventajas:

1.- Ellos mismos se tensionan y por consiguientes permanecen en el centro de el flujo de gas.

2.- La forma en espiral provee la distribución imparcial de los sitios de la corona, con una distribución de corriente constante a lo largo de los electrodos de descarga.

3.- La fuerza de tensión elimina los pesos, que en otra forma se necesitarían para mantener fijos los electrodos.

El sistema de descarga es limpiado por un sistema de golpeo, en los electrodos.

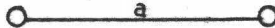

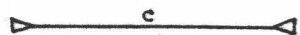
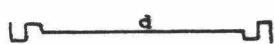


Los electrodos colectores son la principal parte de el equipo interior, su diseño depende sobre los requisitos de esfuerzo mecánico, las características del polvo y las consideraciones aerodinámicas. Generalmente son hechos de hoja de metal y sus bordes pueden ser reforzados con tubería ó por dobléz. Y además pueden ser cuidadosamente colocadas así que la recuperación requerida sea mantenida en su longitud total, esto es importante también para limitar el espacio entre los electrodos de descarga y colección; Así eliminando la posibilidad de una chispa entre los electrodos, antes de alcanzar el voltaje óptimo de trabajo y la reducción de la eficiencia de colección.

Ciertas características de el polvo, alta carga de polvo, ó altas velocidades de el gas, son requeridas para tipos especiales de electrodos de colección. Con estas formas los polvos entran a los espacios vacíos de los platos, fuera de el flujo de gas y además no pueden ser regresados cuando son sacudidos por el sistema de golpeo. La tabla (I-III-3) muestra un número de diferentes secciones de placas colectoras.

Tabla I-III-3, (3)

Diferentes secciones de placas colectoras.

Hoja reforzada por:

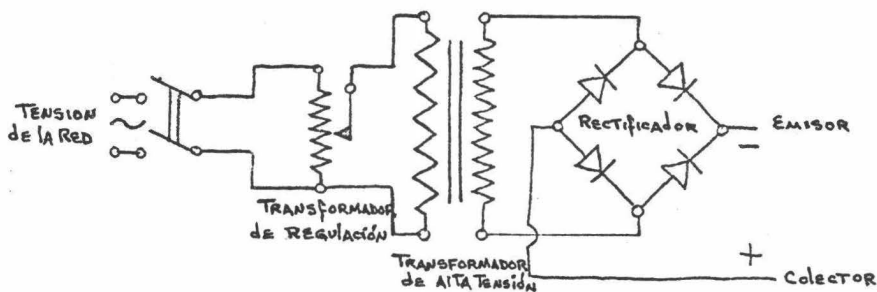
- a).- Tubería. 
- b).- borde redondeado. 
- c).- borde cerrado. 
- d).- dobléz múltiple. 
- e).- bordes abiertos. 
- f).- dobléz y perfilado. 

Las hileras de placas son asegurados a la estructura por armazones, hechos de vigas comunes, en tal forma que el calor de expansión no interfiera y que los platos puedan vibrar cuando es accionado el sistema de descarga de los polos.

La figura (2-III-3) muestra un diseño elemental del equipo de alta tensión necesario para un precipitador electrostático.

Figura (2-III-3) (1).

Diseño elemental, Equipo de Alta Tensión.



Factores que alteran su funcionamiento.-

Los parametros que afectan la operación de un precipitador electrostático, son:

- a).- Volumen del flujo de gas.
- b).- Velocidad del flujo de gas.
- c).- Peso de las cenizas por metro cubico de flujo de gas.
- d).- Distribución de polvo colectado.
- e).- Temperatura del flujo de gas.
- f).- Distribución del gas.
- g).- Conductividad de las cenizas.

Volumen de flujo de gas.

El volumen por tratar, usualmente es determinado con anterioridad cuando se especifica el tamaño de la caldera, el cual es básico en el diseño del precipitador. Por lo que se establece anticipadamente el volumen máximo de gas, que sefa tratado, - las fuentes de los gases, tamaño de partícula y concentración, - composición de la partícula y estructura, resistividad electrica de la partícula, así como otros factores tales como: presión del gas, temperatura, composición y propiedades corrosivas.

Las características correspondientes a la máxima carga son más importantes en el diseño de un precipitador electrostático - que las correspondientes a las condiciones promedio.

En algunas fabricaciones de precipitadores electrostáticos se ha encontrado que el volumen de gas es aproximadamente el 40% mayor que las especificaciones del diseño. Esto tiene varios -- efectos perjudiciales los cuales reducen el funcionamiento del - sistema, ellos son: (4)

- 1).- La eficiencia lograda es reducida exponencialmente.
- 2).- La pérdida debido al regreso de las partículas colectadas, al flujo de gas, se incrementa.
- 3).- La carga de cenizas en el recibidor, es aumentada.
- 4).- La velocidad de emisión de partículas materiales es - aumentada.

Velocidad de flujo de gas.

La velocidad del gas es calculada de el volumen dado con anterioridad en las especificaciones. Diseños prácticos por - fabricantes usualmente restringe la velocidad del gas, a un - máximo cerca de 2M/seg., hasta una velocidad de 2.5M/seg, problemas de recirculación de partículas de polvo llegan a dificultar el funcionamiento del precipitador debido a los efectos de erosión producidos por estas partículas. Es bueno indicar el flujo de diseño de la corriente de aire de los ventiladores en el precipitador, ya que así se podría evaluar totalmente los componentes de la velocidad.

En algunas ocasiones se considera el flujo máximo de gas, cantidad de combustible, exceso de aire y la rendija del quemador del gas, en cantidades menores, para el diseño del flujo del ventilador, y el uso de esto puede resultar en el empleo de un precipitador más pequeño (y menos expansivo) que el requerido por el flujo de diseño del ventilador, pero es enteramente capaz de efectuar la separación.

Cantidad de cenizas.

Normalmente se obtienen datos de la combustión del carbón, el cual es usado como combustible en la caldera. De estos datos y el diseño de la caldera, el peso esperado de cenizas volátiles por unidad de tiempo puede calcularse. Cuando la carga de polvos excede las especificaciones un 50% del diseño original, el aumento en la velocidad de emisión de polvo será mayor del 50%, resultando una probable violación del reglamento de prevención de la contaminación. Fig.3-III-3(4).

El aumento en la carga de polvo y el cambio en la distribución de tamaño de partícula puede obtenerse en las especificaciones del colector y/o precipitador, este dato puede derivarse de pruebas experimentales y/o cálculos de combustión.

Distribución de cenizas.

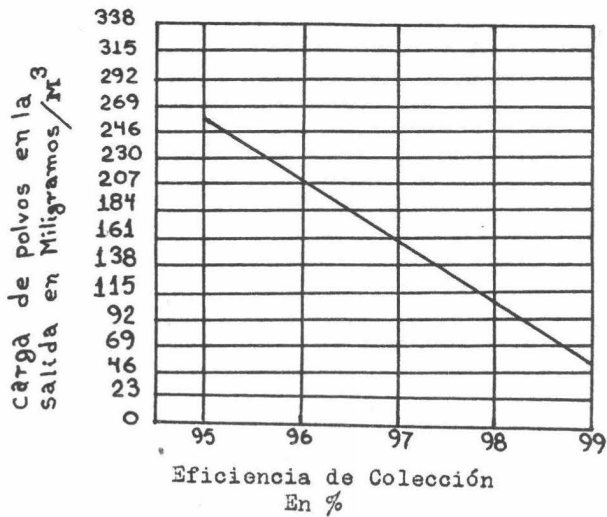
El receptor de cenizas y el sistema de manejo de cenizas tienen un efecto directo en la operación del precipitador. Como el polvo es depositado en los receptores, varios factores intervendrán:

Sí el receptor no es aislado, las cenizas cerca de las paredes del receptor se aglomerarán al enfriarse. Hay una tendencia de estas masas aglomeradas a formar tortas, las cuales no pasaran através de el orificio del receptor ó sí estas pasan a través, pueden tapar el sistema de transporte de cenizas.

Sí las cenizas no son removidas continuamente de los receptores, pueden formar un arco eléctrico con el armazón de alto voltaje causando un corto circuito y la pérdida de una sección eléctrica, un aislamiento en la sección eléctrica es menos susceptible a este tipo de fallas.

Figura 3-III-3) (4)

Eficiencia de Colección vs.
Carga de polvos.



Sí el receptor de cenizas es diseñado para una cierta capacidad y esta capacidad es aumentada en un 50%, se tendrá un contenido mayor de cenizas, llenándose antes de lo previsto, alterando el programa de operación, energía eléctrica y el método de distribución de cenizas.

Temperatura del gas.

La temperatura del flujo de gas, cuando este se haya en el punto de rocío, afecta la velocidad de carga en la salida, la colección de cenizas, por lo que se recomienda que el precipitador sea operado a una temperatura arriba de el punto de rocío del flujo de gas.

La mezcla que llega a formarse abajo del punto de rocío causará que se solidifiquen las partículas de polvo formando tortas ó pastas, como en el caso del cemento. Estas -- tortas cuando se forman sobre el plato colector, alambre de descarga y partes estructurales en grandes masas, puedan causar un corto circuito ó fallas en los electrodos.

Distribución del gas.

La distribución del gas dentro, através y fuera de un precipitador puede ser uniforme. Si el precipitador no es lo suficientemente ancho, las cenizas pueden ser barridas de el plato colector en zonas de alta velocidad del gas y mostraría en la salida de la chimenea un humo más visible. Los gases -- que estan pasando através de áreas de baja velocidad serán, -- más limpias, pero el resultado total neto sera una reducción en la eficiencia de colección. Artificios para prevenir la -- distribución no homogénea por ejemplo: Distribución por platos perforados, deberan instalarse ventiladores y mamparas en la entrada y en el interior del precipitador electrostático.

Resistividad de la ceniza.

Ciertos tipos de cenizas ó polvos tienen alta resistividad eléctrica. Esta característica causa una alta velocidad de carga en la salida. Por ejemplo la alta resistividad de partículas de cenizas de carbón con bajo contenido de azufre proporciona una carga negativa en relación a el plato de colección, por el hecho de asumir una carga positiva, la partícula es repelida y es devuelta a la corriente de gas.

Una solución a el problema del control de la contaminación en el aire parece ser el uso de carbón con bajo contenido de azufre. Por lo tanto, la resistividad de las cenizas de carbón con bajo contenido de azufre en el carbono del 2% -- a un 0.5% de azufre contenido en el carbono puede duplicar el volumen del precipitador electrostático.

Por lo tanto se podría concluir que:

Las especificaciones para precipitadores electrostáticos podrían claramente guiarnos, en las condiciones de operación sobre el diseño é instalación del precipitador, las cuales serían:

a).- La Distribución del gas a, traves del precipitador podría ser uniforme.

b).- La velocidad del gas podría ocurrir dentro del rango del flujo de gas.

c).- La distribución de polvos colectados no podrá afectar la operación del precipitador.

Especificaciones cuidadosas y apropiada instalación del precipitador podrá prevenir un alto costo de mantenimiento .

CAPITULO IV.

Balance de Materiales.

En el horno de recuperación se quema, un gas con la siguiente composición (1).

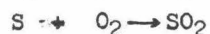
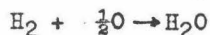
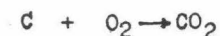
Nombre	Simbolo	Cantidad. en %
Carbón	C	40
Hidrogéno	H ₂	3
Azufre	S	2
Inorganicos	—	50
Residuos	—	5

Este gas se quema en aire, el cual estará en las siguientes -- proporciones:

- a).- 0 % en exceso
- b).- 30 % en exceso
- c).- 50 % en exceso

Se agrega este exceso de aire con el fin de obtener una combustión completa, y así evitar la formación de monóxido de carbono (CO).

Las reacciones efectuadas durante el proceso de combustión son:



En los productos formados, suelen estar presentes en una mínima cantidad, mercaptanos y sulfuros, lo anterior se debe a que el diseño del horno de recuperación no es adecuado y las cantidades son tan pequeñas que se deprecian en el balance de materiales.

Se considera la composición del aire como sigue (2):

21 % de O₂

79 % de N₂

Teniendo presente lo anterior, se tiene lo siguiente:

Composición de la mezcla base 100 kg de sólidos.			Aire necesario para la combustión.	
Nombre	%	Kg. Mol.	Kg. Mol de O ₂	Kg.Mol de N ₂
C	40	3.32	3.320	
H ₂	3	1.50	0.750	
S	2	0.063	0.063	
Inorg.	50			
Residuos	5			
			4.133	15.6
				15.6

El aire necesario para realizar la combustión de 100 Kg. sólidos será de:

19.733 Kg Mol de aire.

Como se dijo anteriormente, la combustión se realizará - con exceso de aire para así garantizar una combustión completa.

Se analizará con los siguientes excesos de aire;

Exceso de aire	Cantidad de O ₂ en Kgmol.	Cantidad de N ₂ en Kgmol.	Cantidad Total de aire en Kgmol.
0 %	4.133 (teórico)	15.600	19.733
30 %	5.390	20.270	25.665
50 %	6.220	23.399	29.619

Analizando el sistema de recuperación (Fig.1-IV) y tomando en cuenta lo anterior, veremos que ya contamos con la composición de los gases, a la salida del horno fundidor la cual es:

Composición de los gases en 0% punto (o).

Gases de combustión	Kg Mol.	%
CO ₂	3.320	16.82
SO ₂	0.063	0.32
H ₂ O	0.750	3.80
N ₂	15.600	79.06
	19.733	100.00

Composición de los gases en 30% Punto (o)

Gases de Combustión.	KgMol	% Mol.
CO ₂	3.320	12.99
SO ₂	0.063	0.25
H ₂ O	0.750	2.93
N ₂	20.270	79.30
O ₂	1.157	4.53
	<u>25.560</u>	<u>100.00</u>

Composición de los gases en 50% Punto (0).

Gases de Combustión.	KgMol	%
CO ₂	3.320	11.21
SO ₂	0.063	0.21
H ₂ O	0.750	2.53
N ₂	23.399	79.00
O ₂	2.087	7.05
	<u>29.619</u>	<u>100.00</u>

Calculos.

Se tomará como base 100 Kg. de sólidos (100% Secos)
La cantidad de agua contenida en el licor de entrada será:(1).

$$X_o = 100 \text{ Kg sólidos} \frac{0.55}{0.45} \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg sólidos}}$$

$$X_o = 122 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg sólidos}$$

Por lo que el flujo de licor es de:

$$\text{Licor} = \text{Kg de sólidos} + \text{Kg de H}_2\text{O}$$

$$\text{Licor} = 100 \text{ Kg sólidos} + 122 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

$$\text{Licor} = 222 \text{ Kg.}$$

Ahora procederemos al calculo del H₂O evaporada en el proceso:

H₂O evaporada en el, Evaporador por contacto:

$$\Delta w_{2-3} = 100 \left(\frac{1}{c_i} - \frac{1}{c_f} \right) \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg sólidos.}}$$

$$\Delta w_{2-3} = 100 \left(\frac{1}{0.45} - \frac{1}{0.70} \right)$$

$$\Delta w_{2-3} = 222 - 142$$

$$\Delta w_{2-3} = 80 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg sólidos.}}$$

c_i = concentración inicial.

c_f = concentración final.

H₂O evaporada en el Secador Rotatorio:

$$\Delta w_{0-1} = \left(\frac{1}{c_i} - \frac{1}{c_f} \right) \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg sólidos.}}$$

$$\Delta w_{0-1} = \left(\frac{1}{0.70} - \frac{1}{1} \right)$$

$$\Delta w_{0-1} = 142 - 100$$

$$\Delta w_{0-1} = 42 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg}} \text{ sólidos.}$$

Lo anterior lo podremos sintetizar en la siguiente tabla 2-IV de composición y posteriormente en la Fig. 1-IV

Tabla 2-IV

Para 0 % Exceso de aire.

Compuesto	Horno (0) Fundidor		Secador (0-1) Rotatorio		Evaporador (2-3) de contacto directo.	
	Kg Mol	%	Kg Mol	%	Kg Mol	%
CO ₂	3.320	16.82	3.320	15.05	3.320	12.52
SO ₂	0.063	0.32	0.063	0.28	0.063	0.24
H ₂ O	0.750	3.80	3.083	13.97	7.527	28.40
N ₂	15.600	79.06	15.600	70.70	15.600	58.84
	<u>19.733</u>	<u>100.00</u>	<u>22.066</u>	<u>100.00</u>	<u>26.510</u>	<u>100.00</u>

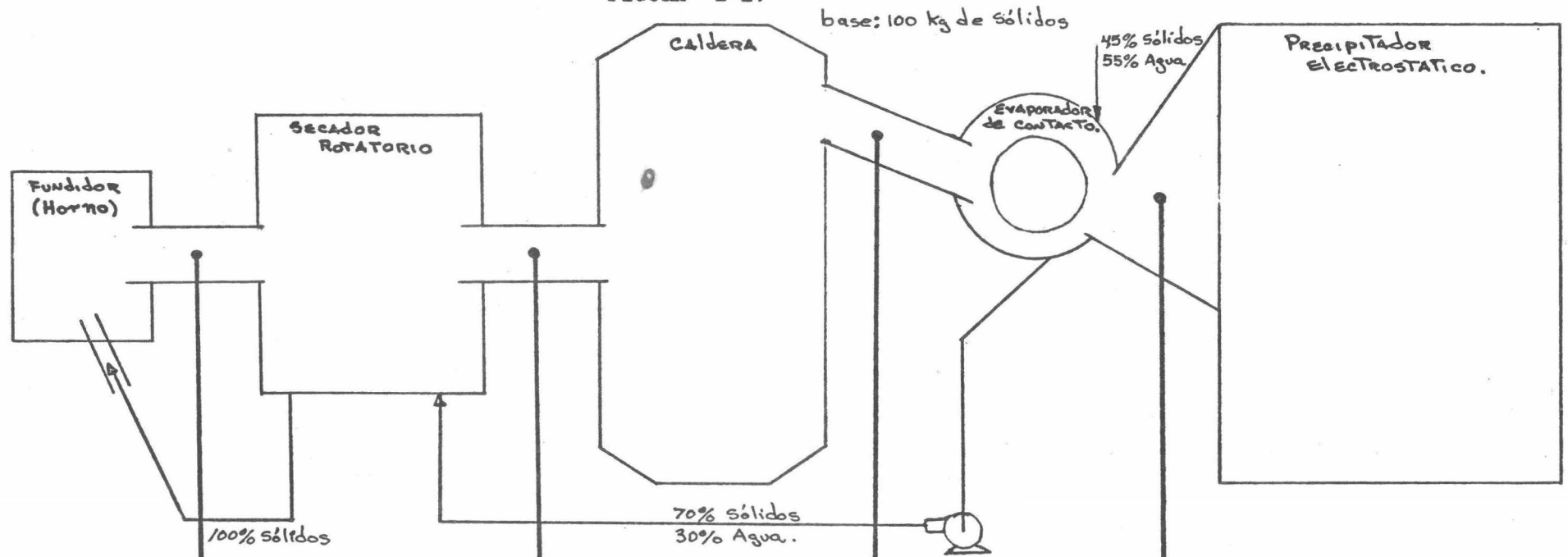
Para 30 % Exceso de aire.

CO ₂	3.320	12.99	3.320	11.90	3.320	10.26
SO ₂	0.063	0.25	0.063	0.23	0.063	0.20
H ₂ O	0.750	2.93	3.083	11.05	7.527	23.27
N ₂	20.270	79.30	20.270	72.67	20.270	62.70
O ₂	1.157	4.53	1.157	4.15	1.157	3.57
	<u>25.560</u>	<u>100.00</u>	<u>27.893</u>	<u>100.00</u>	<u>32.337</u>	<u>100.00</u>

Para 50 % Exceso de aire.

CO ₂	3.320	11.21	3.320	10.39	3.320	9.12
SO ₂	0.063	0.21	0.063	0.20	0.063	0.17
H ₂ O	0.750	2.53	3.083	9.65	7.527	20.68
N ₂	23.399	79.00	23.399	73.23	23.399	64.30
O ₂	2.087	7.05	2.087	6.53	2.087	5.73
	<u>29.619</u>	<u>100.00</u>	<u>31.952</u>	<u>100.00</u>	<u>36.396</u>	<u>100.00</u>

FIGURA 1-IV



0% Exceso de Aire.		(0)	(1)	(2)	(3)
Compuesto	Kg Mol	%	Kg Mol	%	Kg Mol
CO ₂	3.320	16.82	3.320	15.05	3.320
SO ₂	0.063	0.32	0.063	0.28	0.063
H ₂ O	0.750	3.80	3.083	13.97	3.083
N ₂	15.600	79.06	15.600	70.70	15.600
30 % Exceso de Aire.					
CO ₂	3.320	12.99	3.320	11.90	3.320
SO ₂	0.063	0.25	0.063	0.23	0.063
H ₂ O	0.750	2.93	3.083	11.05	3.083
N ₂	20.270	79.30	20.270	72.67	20.270
O ₂	1.157	4.53	1.157	4.15	1.157
50 % Exceso de Aire.					
CO ₂	3.320	11.21	3.320	10.39	3.320
SO ₂	0.063	0.21	0.063	0.20	0.063
H ₂ O	0.750	2.53	3.083	9.65	3.083
N ₂	23.399	79.00	23.399	73.23	23.399
O ₂	2.087	7.05	2.087	6.53	2.087

Ahora procederemos al cálculo del H₂O evaporada, para una producción de 200 Ton/día, como dato se nos da que por cada tonelada de producto, obtendremos 1600 Kg. de sólidos, (100% secos) lo cual se tomará como base para el cálculo:

La cantidad de sólidos producidos por 200 Ton/día será:

$$X = 200,000 \text{ Kg. de celulosa/día} \frac{1600 \text{ Kg. de sólidos.}}{1000 \text{ Kg. de celulosa.}}$$

$$X = 320,000 \text{ Kg. de sólidos/día}$$

La cantidad de H₂O contenida en 3.2×10^5 Kg. de sólidos será:

$$X = 3.2 \times 10^5 \text{ Kg. de sólidos/día} \frac{122 \text{ Kg. de H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg. de Sólidos.}}$$

$$X = 3.904 \times 10^5 \text{ Kg. de H}_2\text{O/día.}$$

La cantidad de licor a la entrada del evaporador por contacto - será:

$$\text{Licor} = 3.2 \times 10^5 \text{ Kg. de sólidos} + 3.904 \times 10^5 \text{ Kg. de H}_2\text{O}$$

$$\text{Licor} = 7.10 \times 10^5 \text{ Kg. de licor/día.}$$

Cálculo del H₂O evaporada en el proceso/día.

H₂O evaporada en el Evaporador por contacto.

$$\Delta w_{2-3} = 3.200 \times 10^5 \left(\frac{1}{0.1} - \frac{1}{0.7} \right) \frac{\text{Kg de H}_2\text{O}}{(3.2 \times 10^5 \text{ Kg. de sólidos}) / \text{día}}$$

$$\Delta w_{2-3} = 3.200 \times 10^5 \left(\frac{1}{0.45} - \frac{1}{0.70} \right)$$

$$\Delta w_{2-3} = (7.104 - 4.550) \times 10^5$$

$$\Delta w_{2-3} = 255,000 \text{ Kg de H}_2\text{O} / 3.2 \times 10^5 \text{ Kg de sólidos}$$

H₂O evaporada en el secador rotatorio:

$$\Delta w_{0-1} = 3.200 \times 10^5 \left(\frac{1}{0.1} - \frac{1}{0.7} \right) \frac{\text{Kg de H}_2\text{O}}{3.2 \times 10^5 \text{ Kg. de sólidos.}}$$

$$\Delta w_{0-1} = 3.200 \times 10^5 \left(\frac{1}{0.70} - \frac{1}{1} \right)$$

$$\Delta W_{O-1} = (4.550 - 3.200) \times 10^5$$

$$\Delta W_{O-1} = 135,000 \frac{\text{Kg. de H}_2\text{O}}{3.2 \times 10^5 \text{Kg. de s\u00f3lidos.}}$$

De lo anterior obtendremos la composici\u00f3n de los gases atraves del proceso de recuperaci\u00f3n .(Figura 2-IV).

Factor de flujo de gas.-

$$X = 320,000 \text{ Kg. de s\u00f3lidos/d\u00eda} \times 1/100 \text{ Kg. de s\u00f3lidos} \times \text{d\u00eda}/1440 \text{ min.}$$

$$X = 3200/1440$$

$$X = 2.22 \text{ l/min.}$$

Por lo que el flujo de:

$$\bar{X}_1 = \text{Kg Mol} \times 2.22 \text{ l/min.}$$

Para el punto (0) con 0% de exceso de aire:

Compuesto.	Kg. Mol/min.		Kg Mol/min.
CO ₂	3.32 x 2.22	=	7.37
SO ₂	0.063x 2.22	=	0.14
H ₂ O	0.750x 2.22	=	1.66
N ₂	15.600x 2.22	=	34.63
O ₂	0.0 x 2.22	=	0.00

Considerando lo anterior, obtendremos la siguiente tabla de composici\u00f3n (Tabla 3-IV) y posteriormente se podr\u00e1 sintetizar en la figura 2-IV.

T A B L A 3-IV

Para 0 % Exceso de Aire.

Compuesto	Horno (0) Fundidor		Secador (0-1) Rotatorio		Evaporador (2-3) de Contacto directo.	
	KgMol/min.	%	Kg Mol/min	%	Kg Mol/min.	%
CO ₂	7.37	16.82	7.37	15.05	7.37	12.52
SO ₂	0.14	0.32	0.14	0.28	0.14	0.24
H ₂ O	1.66	3.80	6.84	13.97	16.71	28.40
N ₂	34.63	79.06	34.63	70.70	34.63	58.84
	<u>43.80</u>	<u>100.00</u>	<u>48.98</u>	<u>100.00</u>	<u>58.85</u>	<u>100.00</u>

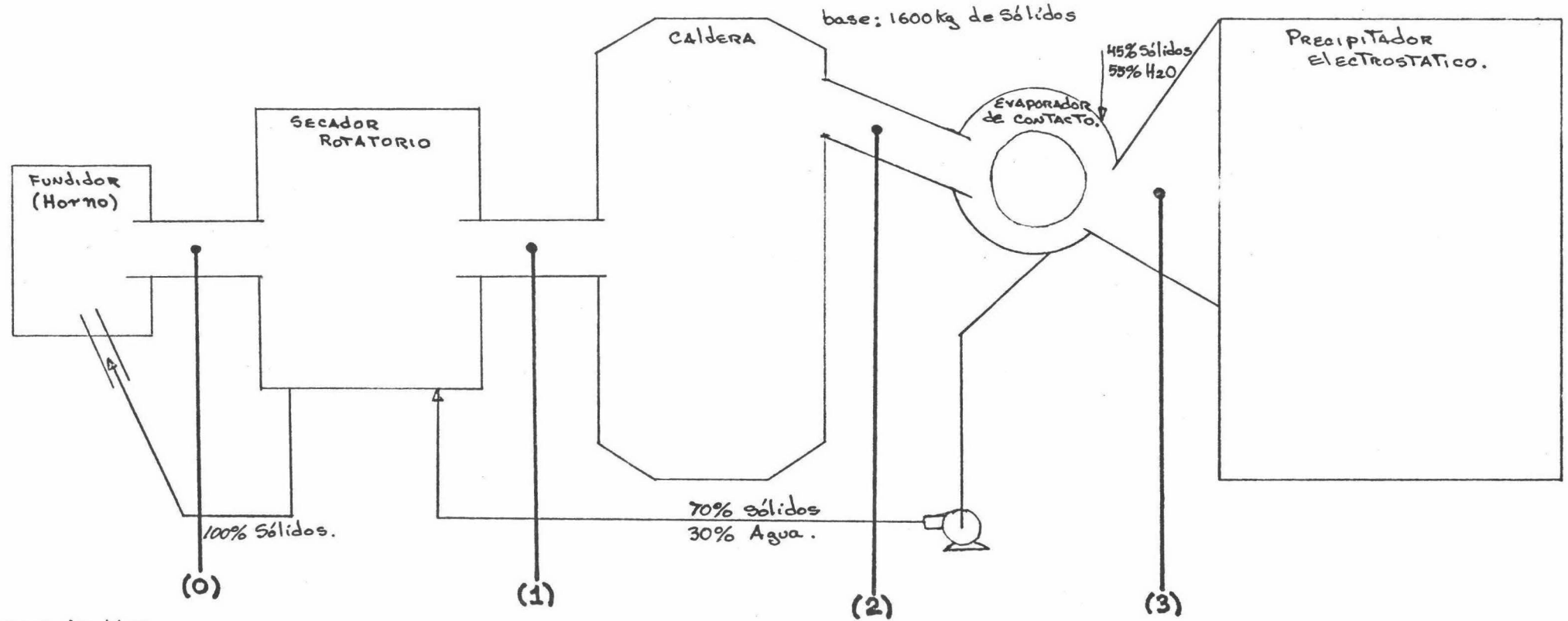
Para 30 % Exceso de Aire.

CO ₂	7.37	12.99	7.37	11.90	7.37	10.26
SO ₂	0.14	0.25	0.14	0.23	0.14	0.20
H ₂ O	1.66	2.93	6.84	11.05	16.71	23.27
N ₂	45.00	79.30	45.00	72.67	45.00	62.70
O ₂	2.56	4.53	2.56	4.15	2.56	3.57
	<u>56.73</u>	<u>100.00</u>	<u>61.91</u>	<u>100.00</u>	<u>71.78</u>	<u>100.00</u>

Para 50 % Exceso de Aire.

CO ₂	7.37	11.21	7.37	10.39	7.37	9.12
SO ₂	0.14	0.21	0.14	0.20	0.14	0.17
H ₂ O	1.66	2.53	6.84	9.65	16.71	20.68
N ₂	51.81	79.00	51.81	73.23	51.81	64.30
O ₂	4.61	7.05	4.61	6.53	4.61	5.73
	<u>65.59</u>	<u>100.00</u>	<u>70.77</u>	<u>100.00</u>	<u>80.64</u>	<u>100.00</u>

71
FIGURA 2- IV



Compuesto	0 % Exceso de Aire.		30 % Exceso de Aire.		50 % Exceso de Aire.	
	Kg Mol/min	%	Kg Mol/min.	%	Kg Mol/min	%
CO ₂	7.37	16.82	7.37	15.05	7.37	15.52
SO ₂	0.14	0.32	0.14	0.28	0.14	0.24
H ₂ O	1.66	3.80	6.84	13.97	6.84	28.40
N ₂	34.63	79.06	34.63	70.70	34.63	58.84
30 % Exceso de Aire.						
CO ₂	7.37	12.99	7.37	11.90	7.37	10.26
SO ₂	0.14	0.25	0.14	0.23	0.14	0.20
H ₂ O	1.66	2.93	6.84	11.05	6.84	23.27
N ₂	45.00	79.30	45.00	72.67	45.00	62.70
O ₂	2.56	4.53	2.56	4.15	2.56	3.57
50 % Exceso de Aire.						
CO ₂	7.37	11.21	7.37	10.39	7.37	9.12
SO ₂	0.14	0.21	0.14	0.20	0.14	0.17
H ₂ O	1.66	2.53	6.84	9.65	6.84	20.68
N ₂	51.81	79.00	51.81	73.23	51.81	64.30
O ₂	4.61	7.05	4.61	6.53	4.61	5.73

Basandonos en los datos obtenidos en la Tabla 3-IV, y considerando que: el Volumen molar normal de:

$$1 \text{ Kg Mol} = 22.4146\text{m}^3 (2).$$

Obtendremos el volumen de gas a través del proceso de recuperación lo cual nos permitirá efectuar el dimensionamiento del precipitador electrostático.

Para 0 % Exceso de Aire.

$$V_0 = 981.76 \text{ M}^3/\text{min.} \quad V_2 = 1087.86 \text{ M}^3/\text{min.}$$

$$V_1 = 1087.86 \text{ M}^3/\text{min.} \quad V_3 = 1319.10 \text{ M}^3/\text{min.}$$

Para 30 % Exceso de Aire.

$$V_0 = 1387.68 \text{ M}^3/\text{min.} \quad V_2 = 1387.68 \text{ M}^3/\text{min.}$$

$$V_1 = 1387.68 \text{ M}^3/\text{min.} \quad V_3 = 1608.91 \text{ M}^3/\text{min.}$$

Para 50 % Exceso de Aire.

$$V_0 = 1470.17 \text{ M}^3/\text{min.} \quad V_2 = 1586.28 \text{ M}^3/\text{min.}$$

$$V_1 = 1586.28 \text{ M}^3/\text{min.} \quad V_3 = 1807.51 \text{ M}^3/\text{min.}$$

Siendo V_3 , el volumen del gas a la entrada del Precipitador Electroestático.

CAPITULO V.- Determinación de la eficiencia obtenida en el precipitador.

Ecuaciones empiricas para el calculo de la eficiencia, han sido desarrolladas por: Anderson (1924), Walker y Coolidge (1953), Schmidt (1928), Deutsch (1922), y otros. (1), estas ecuaciones son las que gobiernan el proceso de precipitación electrostática, y están relacionadas primeramente con el área superficial total del electrodo de colección por unidad de volumen de gas tratado, y de la "velocidad de impulso de la partícula" ó parámetro de la velocidad de precipitación.

Es importante notar que la colección en el precipitador electrostático es independiente de la velocidad del flujo de la corriente del gas, (aunque velocidades excesivamente bajas ó altas, causen problemas en el proceso básico de colección). En los otros dispositivos de colección de partículas, es necesario aumentar la entrada de masa del gas a ser tratado, antes de que las fuerzas de separación puedan ser obtenidas.

El precipitador electrostático, aplica las fuerzas de separación directamente a las partículas, sin la necesidad de aumentar la velocidad del gas. Esta característica resulta en una potencia de entrada extremadamente baja, requerida para la colección de partículas finas, comparada con cualquier otro tipo de colector.

Se notara que el parámetro de velocidad de precipitación críticamente depende de la fuerza del campo (en la ecuación, aparece cómo el cuadrado), note también que el parámetro de velocidad depende unicamente de la primera potencia del radio de la partícula; en contraste, con los dispositivos inerciales, los cuales son fuertemente afectados por el tamaño de la partícula. En contraste, un precipitador es extremadamente sensible a estos factores, los cuales afectan el voltaje máximo, al cual esta operando ó puede operar, estos son principalmente, la densidad del gas, la conductividad eléctrica del material que esta siendo colectado, la más alta densidad del gas, el más alto parámetro de velocidad de precipitación y la más alta eficiencia, las demás permanecieran igual.

Frecuentemente las siguientes formas modificadas son usadas;

Precipitadores tipo de platos; $Eff = 1 - K^{ct}$

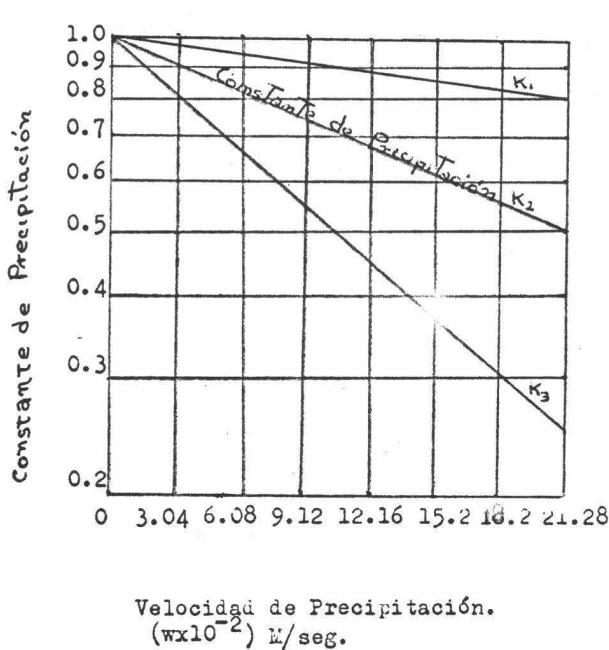
Precipitadores tipo de tubos ; $Eff = 1 - K^{2ct}$

Donde; K , es una medida de la facilidad con la cual los polvos ó humos puede ser precipitados, y, c , es una constante que depende de las dimensiones físicas del precipitador y del voltaje aplicado.

La figura (I.V), es una ilustración gráfica de la relación entre varias formas comunes de estas ecuaciones de eficiencia; Note que en cada ecuación hay alménos una constante arbitraria la cual determina el valor de la eficiencia.

Figura(I.V)(1).

Relaciones entre varias constantes de precipitación y velocidad de precipitación.



La ecuación propuesta por Deutsch, tiene una forma similar a: (2).

$$N = 1 - e^{-wf}$$

donde; N= Fracción en peso de polvos colectados.
 w= velocidad de precipitación ó de migración de una partícula de polvo hacia el electrodo colector, M/seg.
 f= relación del área del electrodo colector, a el volumen del gas pasando a través del colector, $M^2 / M^3 / \text{seg.}$

Por lo tanto, la ecuación desarrollada es:

$$\text{Eff} = 1 - e^{-\frac{Aw}{Vg}}$$

$$w = \frac{EoEp a}{2N} \quad Eo, Ep = f (Pg, R)$$

Donde; Eff= Fracción colectada.
 A= área superficial de los electrodos de colección.
 Vg= velocidad de flujo de gas.
 w= parámetro de la velocidad de precipitación.
 Eo= campo de carga, volts/distancia.
 Ep= campo de colección, volts/distancia.
 a= radio de la partícula.
 η = viscosidad del gas.
 ρ_g = densidad del gas.
 R= resistividad volumétrica de la partícula.

Anderson propuso una ecuación de la forma;

$$\text{Eff} = 1 - K^t$$

donde; K= una constante empírica.
 t= el tiempo que las partículas de polvo permanecen en el campo eléctrico del colector seg.

Schmidt, modifico la ecuación de Anderson a;

$$\text{Eff} = 1 - K \frac{c Ap}{Q}$$

donde; K y c= constantes empíricas.
 Ap= el área de los electrodos de colección ó platos, M^2 .
 Q= El volumen del gas, $M^3 / \text{seg.}$

Se debe mencionar que a partir de la ecuación de la eficiencia de Deutsch - Anderson, se puede determinar - el área del electrodo de colección.

$$Eff = 1 - e\left(\frac{-Aw}{Vg}\right).$$

La eficiencia es específica para una velocidad de flujo particular; y el parámetro de velocidad de precipitación ha sido estimado para diferentes aplicaciones, como se da en la tabla (I.Y),.

Tabla (I.Y), (1).

Valores típicos de Velocidad promedio de Precipitación calculadas en la práctica, para usarlas en la Ecuación de la Eficiencia.

$$Eff = 1 - e\left(-w \frac{AP}{Q}\right)$$

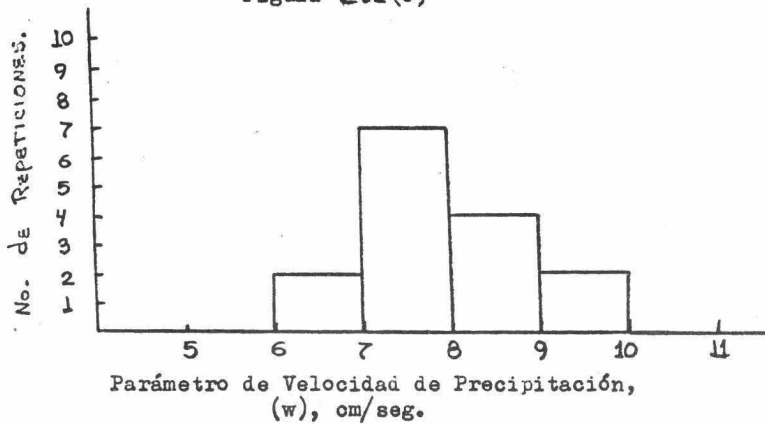
Aplicaciones	Velocidad Promedio de precipitación (w), m/seg.
Carbón pulverizado (cenizas)	0.1003- 0.1338
Fabricas de papel	0.0760
Hornos con chimenea abierta	0.0578
Alto horno secundario (80% de Fe.fundido)	0.1247
Fosforo caliente	0.0274
Niebla de ácido (H_2SO_4)	0.0578- 0.0760
Niebla de ácido (TiO_2)	0.0578- 0.0760
Tostador de espreas	0.0760
Tostador con chimenea múltiple	0.0790
Fábrica de cemento Portland (húmedo)	0.1003- 0.1136
Fábrica de cemento Portland (seco)	0.0578- 0.0699
Polvo catalítico	0.0760
Fierro gris (relación fierro- coke=10)	0.0304- 0.0365

Para el caso específico, de instalaciones de papel y celulosa, esté valor se ha obtenido de la sig. forma:

Figura (2.Y), (6).

Histograma de parámetros de velocidad de precipitación, para 15 instalaciones de Pulpa y Papel.

Figura 2.V(6)



El área del electrodo de colección, A, entonces es calculada de la ecuación de la eficiencia.

$$A = \frac{Vg}{w} \ln \frac{100}{100 - \text{Eff}}$$

habiéndose establecido los M^2 del área del electrodo de colección requerida, se procederá a seleccionar el tamaño específico del precipitador, de acuerdo con otros aspectos prácticos, tales como: limitaciones del espacio, distribución de flujo, tamaños prácticos de la longitud y altura de los platos, así como número de campos y secciones requeridas.

A continuación mencionaremos otras ecuaciones diferentes de la ecuación original establecida por Dutsch, para el cálculo de la eficiencia, del precipitador, las cuales han sido obtenidas, en la práctica por los siguientes fabricantes;

S, F, de México.
$$\text{Eff.} = 1 - e^{-\left(\frac{wk \cdot A}{Q}\right)^{0.5}} \times 100$$

American Air Filter de México, S. A.
$$\text{Eff.} = \left(1 - e^{-\frac{A \cdot w}{Q \times 100}}\right) \times 100$$

Los símbolos tienen el siguiente significado:

wk = Velocidad de migración promedio total cm/seg.

A = superficie de colección, M^2 .

Q = Volumen de flujo de gas en, $M^3/\text{seg.}$

e = base de logaritmos naturales.

Eff = Eficiencia en %.

CAPITULO VI

Conclusiones.-

Durante el desarrollo del trabajo, se encontró que para el Abatimiento de la Contaminación Ambiental originada — por la emisión de humos y polvos, no basta con instalar en la salida de gases cualquier equipo colector; Ya que a partir de un estudio minucioso tanto de las características del flujo de gas, como de los diferentes equipos colectores, se puede efectuar una selección del equipo colector más adecuado para la Industria.

Siendo los parametros más importantes para la selección los siguientes:

- 1.- Características de flujo de gas.
- 2.- Características de las partículas.
- 3.- Eficiencia requerida del colector.
- 4.- Costos del Equipo Colector.
- 5.- Emisiones permitidas máximas.

Dentro de nuestro estudio se observó que aún — cuando dos o más equipos de colección de partículas, se ajustan a los requerimientos de colección, los costos (principalmente el de operación) son el factor determinante para la selección del equipo más adecuado.

Es importante hacer notar que el carbonato y — sulfato de sodio en la Industria de la celulosa, no son en si un — contaminante, ya que debido a su gran solubilidad, no producen nin — gún daño a la flora o a la fauna. Sin embargo la eliminación de — estos se hace necesaria para cumplir con las reglamentaciones impues — tas por las autoridades del gobierno.

Tomando en consideración el volumen de gases a manejar, temperatura, concentración de polvo, el equipo más adecua — do para la eliminación de polvos es el precipitador electrostático el cual puede alcanzar eficiencias hasta de un 99%.

Por lo tanto la instalación de este Equipo Colector redundó en una mejora en el proceso y en una disminución de los costos de elaboración de la celulosa, aunado con la disminución en la emisión del polvo Industrial.

CAPITULO VII

B I B L I O G R A F I A .	(Cap.) N.b.
1.- Air Pollution Control, Condensed Catalog. CARBORUNDUM '72.	(II-2) 1
2.- Air Pollution, Hand. Book Magill, Paul L. 1956	(I) 4
3.- Air Pollution in the Iron And. Steel Industry. ORGANISATION for Economic Cooperation. and. Development - 1969.	(I) 1
4.- Air Pollution Engineering, Manual. Public Health Service 1970.	(III-3) 2 (V) 1
5.- American Air Filter, de México S.A. Catalogo. 1972.	(V) 4
6.- Combustión /October 1971	(II-1) 1 (III-3) 4
7.- La Contaminación Atmosferica y su relación con el Flujo de vehículos en la Cd. de México. 1969 Bravo, A. Humberto. COMACYT.	(I) 2
8.- Chemycal Engineering. February 15-1971 Desk Book ISSUE.	(II-1) 2 (II-2) 3 (III) 3 (III-2) 4
9.- Chemycal Engineering. January 27-1969	(II-2) 2 (II-3) 3
10.- Chemycal Engineers' Handbook. J. H. Perry.	(III-2) 3
11.- Datos proporcionados por la fabrica de papel "Loreto y Peña Pobre".	(IV) 1
12.- Dust Collector, Selección Guide '72. American Air Filter.	(II-2) 4
13.- Electrostatic Precipitators. Catalogo, American Air Filter. 1972.	(III-3) 3
14.- Electrical Precipitation of. Dust, etc, in gases. Catalogo S.F. de México. 1972.	(III-2) 2



	(Cap.) N.b.
15.- Electrostatic Precipitators Catalogo, S.F. de México 1972.	(III-3) 1 (V) 3
16.- Electrostatic Precipitators. 1970 Southern Research Institute.	(III) 2 (III-1) 3 (V) 6
17.- Expansión. 15 Nov. 1972	(II-1) 3
18.- The Golden Book Encyclopedia T-6 1961	(I) 6
19.- Hand-Book of. the National Center for air Pollution Control. Cincinnati, ohio - 1967	(II-3) 3 (III-2) 1
20.- Industrial Pollution Control, Hand-Book. Lund., Herbert F. 1971.	(I) 3 (V) 2
21.- Journal of. the air Pollution Control Association. Vol. 18 April 1968.	(V) 5
22.- Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental. Y Reglamento para la prevención y control de la Contaminación Atmosférica. Originada por el Emisión de Humos y Polvos. México 1971.	(II) 1 (II-3) 1
23.- Precipitadores Electrostáticos. Catalogo S.F. de México. 1972.	(III) 1 (III-1) 1
24.- Principios y Calculos Basicos de la Ingenieria Quimica. David M. Himmelblau.	(IV) 2
25.- Problemas de Ecologia Humana en la cuenca del Valle de México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. 1971.	(I) 5 (II-1) 4
26.- Reglamento para la Prevención y Control de la contaminación atmosférica originada por la emisión de humos y polvos.	(II-3) 1
27.- Research-Cottrell, Inc. January 5 1960	(III-1) 3

Cap. = Capitulo.

N.b. = Nota bibliografica.