

Dubén Cañiz
6/3/03.



**Escuela Superior Politécnica
del Litoral**

**DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA MECANICA**

**Estudio de la Industria relativo
a la contaminación del Aire y
Anteproyecto de un Precipitador
Electrostático".**

TESIS DE GRADO

**Previa a la obtención del Título de
Ingeniero Mecánico**

Presentada por:

**Carlos E. Villacrés
Montenegro**

Guayaquil - Ecuador

1977

"ESTUDIO DE LA INDUSTRIA RELATIVO A LA CONTAMINACION
DEL AIRE Y ANTEPROYECTO DE UN PRECIPITADOR
ELECTROSTATICO"

AUTOR:



CARLOS E. VILLACRES M.

DIRECTOR DE
TESIS:



ING. MEC. EDUARDO RIVADENEIRA

DECLARACION EXPRESA:

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a su Autor y el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Artículos Sexto y Vigésimo primero del Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la E.S. P.O.L.)

Carlos E. Villacrés M.

DEDICATORIA

A mis padres:

CARLOS HUMBERTO
VIOLETA ARGENTINA

"Quienes por su abnegado amor y encomiable responsabilidad concebida bajo la forma de esfuerzo y sacrificio sublime han permitido que, amparado en ese grandioso estímulo, el otrora sueño de mi vida sea ahora - realidad".

A mis Hermanos:

CARMEN ELIZABETH
VICTOR HUGO
OSWALDO VINICIO
FREDDY DAVID

Quienes depositaron en mí su inquebrantable fé, confianza y respeto.

A mi abuela CARMEN, y demás familia que con su nobleza y generosidad de corazón me apoyaron a través de todas las etapas de vida estudiantil logradas hasta hoy.

AGRADECIMIENTO

A los profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica - del Litoral.

A la Cemento "SAN EDUARDO" de Guayaquil.

Al Departamento de Saneamiento Ambiental del Municipio de Guayaquil.

Al Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (I. E.O.S.) Quito.

Al Ministerio de Industrias, Comercio e Integración. Quito.

"Por su valiosa colaboración"

PREFACIO

Debo indicar que las ideas básicas del presente tema de Tesis fueron expuestas por el ING. M.S. EDUARDO RIVADENEIRA P., Profesor y Director del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

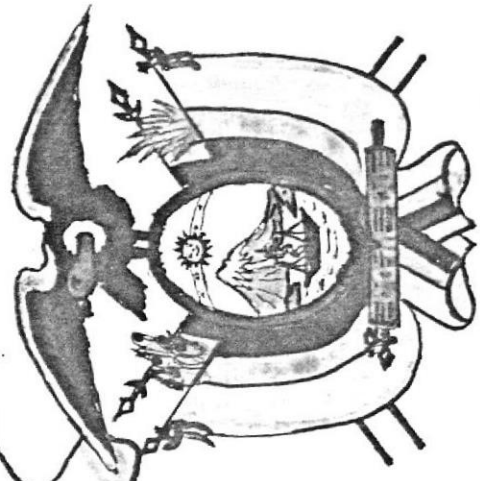
Es mi deber presentarle un especial agradecimiento por toda la información que me proporcionó así como por su acertada dirección y colaboración durante el desarrollo y culminación de este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
CAPITULO 1. INTRODUCCION	
1.1. Objetivo del presente estudio	1
1.2. Justificación del anteproyecto	6
CAPITULO 2. LA INDUSTRIA Y LA CONTAMINACION DEL AIRE	
2.1. Definición del problema	
2.1.1. ¿Qué es la contaminación del aire?	9
2.1.2. Fuentes de contaminación del aire	11
2.2. Contaminantes del Aire y sus efectos en el ambiente.	18
2.2.1. Aire Limpio	18
2.2.2. Principales contaminantes del aire	21
2.2.3. Efectos en el ambiente	31
2.3. La industria del cemento	38
2.3.1. Descripción del sistema	40
2.3.2. Métodos cuantitativos	48
2.3.3. Aplicación Nacional: Ecuador	49
2.4. Tendencias legislativas y reglamentarias relativas al control y a la prevención de la Contaminación del Aire en el Ecuador.	52
2.4.1. Programa de control de la Contaminación Ambiental.	53
2.4.2. Actividades realizadas en el programa; anteproyecto de Ley.	54
2.4.3. Programas de investigación y evaluación	55
2.4.4. Ley de prevención y control de la contaminación ambiental.	57
CAPITULO 3. SELECCION DEL EQUIPO PARA ELIMINAR PARTICULAS.	
3.1. Principios generales.	74

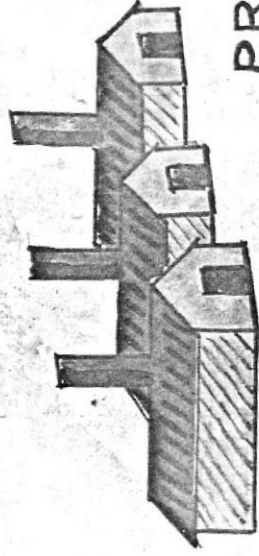
	Pág.
3.2. Tipos básicos y características fundamentales de los colectores y separadores de partículas.	78
3.2.1. Colectores-separadores mecánicos.	78
3.2.2. Filtros de tejido	85
3.2.3. Purificadores de gases por vía húmeda	89
3.3. Criterios de Selección.	
CAPITULO 4. EVALUACION DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO OPTIMO PARA LA INDUSTRIA DEL CEMENTO.	
4.1. Principios del funcionamiento.	103
4.2. Ventajas, desventajas y sus diversas aplicaciones.	110
4.3. Selección del óptimo	113
CAPITULO 5. INGENIERIA DEL DISEÑO	
5.1. Selección de la Capacidad del sistema	122
5.1.1. Planteamiento del problema.	122
5.1.2. Datos y condiciones del diseño	122
5.2. Cálculo y diseño de la entrada del gas	124
5.3. Cálculo y diseño de los electrodos de descarga y estructuras de soporte.	134
5.4. Cálculo y diseño de los electrodos colectores y estructuras de soporte.	142
5.5. Cálculo y selección del Sistema de suministro de energía eléctrica.	147
5.6. Cálculo y selección de los elementos de control e instrumentos de medición.	153
5.7. Cálculo y selección del sistema de vibración para despolvamiento.	156
5.8. Cálculo y diseño de las Tolvas - salida del polvo colectado - Coraza.	159

	Pág.
5.9. Cálculo y Selección de equipos y servicios auxiliares.	165
CAPITULO 6. FACTIBILIDAD DE CONSTRUCCION EN EL ECUADOR.	
6.1. Materiales de Construcción	169
6.2. Tecnología de Fabricación	172
CAPITULO 7. CONSIDERACIONES DE ENSAMBLAJE, OPERACION Y MANTENIMIENTO.	174
CAPITULO 8. ANALISIS ECONOMICO	182
CAPITULO 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	193
CAPITULO 10. APENDICE	
1. Iones y Núcleos Aitken	200
2. Efecto de partículas en hojas de planta	201
3. Capacidad asimilativa del medio ambiente.	201
4. Electrodo cilíndricos - Ecuaciones	203
5. Pacto Andino	206
6. Expresión "EXP"	206
7. Disminución de la visibilidad.	206
8. Anteproyecto de Decreto	208
9. Decreto N° 374 - Registro Oficial	215
TABLAS	219
DIAGRAMAS	221
REFERENCIAS	229
BIBLIOGRAFIA	230

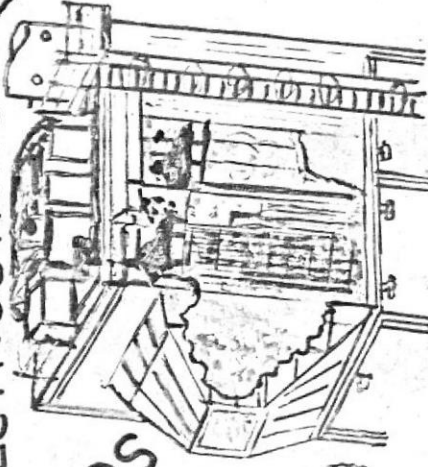


ECUADOR

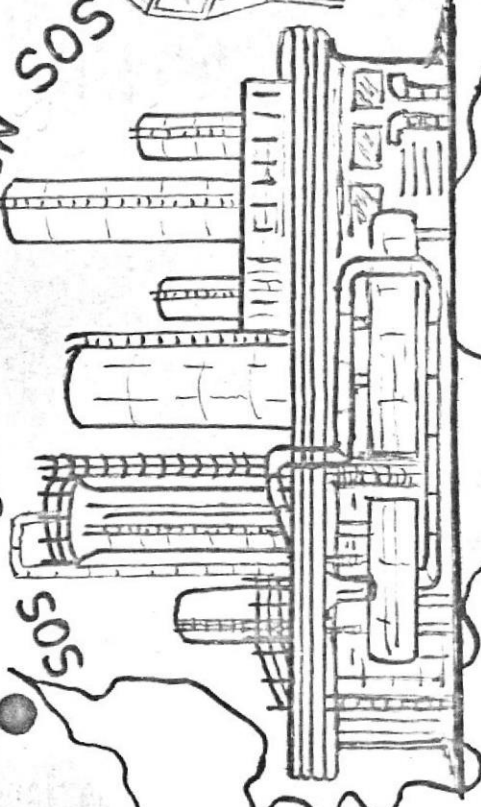
QUITO



PRECIPITADOR ELECTROSTATICO



GUAYAQUIL CONTAMINACION SOS



GUAYAQUIL
CARLOS VILLACRES

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1. OBJETIVO DEL PRESENTE ESTUDIO

Como dijo James Marshall (investigador de U.S.A.): "Probablemente el aire es la provisión más importante que llevamos los Astronautas al atravesar el espacio en nuestra nave gigante, el Planeta Tierra".

En realidad, esta delgada capa de atmósfera que mantiene la vida, es una mezcla de gases que se formó hace millones y millones de años, cuando nuestro planeta en estado de fusión, se enfrió y condensó para formar rocas sólidas y agua. Durante los siguientes millones de años, esta nube gaseosa se convirtió gradualmente en una mezcla de ingredientes adecuada para hacer posible la vida tal como la conocemos hoy.

El delicado equilibrio de estos componentes se conserva gracias a la cooperación que existe en la naturaleza de una forma de vida con otra. Pero el hombre, en su lucha irreflexiva por conquistar la Naturaleza ha ido demasiado lejos, y, ahora amenaza con romper todo el equilibrio. No solo está alterando el equilibrio Oxígeno - Bióxido de Carbono de la Atmósfera, también está vertiendo en ella enormes cantidades de otros gases y polvos de desecho.

Hasta hace poco tiempo, el volumen de estos desperdicios era bastante pequeño y la atmósfera podía absorberlos y expulsarlos sin mucha dificultad. Ahora, sin embargo, en muchas ciudades grandes, las actividades humanas han aumentado hasta el punto de que sus habitantes viven bajo una nube constante de

2

estos desperdicios. Nadie sabe con certeza cual será el resultado de enviar al aire tantas impurezas. Pero parece probable que se estén causando daños en la salud, corrosión de algunos materiales y la muerte de la vegetación. Esta "CONTAMINACION DEL AIRE" es solo un ejemplo de como el hombre está alterando su ambiente sin pensar en los resultados.

En una sencilla ceremonia celebrada el 11 de mayo de 1971, en la ciudad de Menton - Francia, reunión convocada por un nuevo movimiento Internacional por la Paz, el ex-secretario General de las N.N.U.U.: U Thant, recibió un mensaje firmado por 2.200 hombres de ciencia de 23 países y dirigido a los 3.500 millones de habitantes del planeta para advertirles del peligro sin precedentes que amenaza a la Humanidad: CONTAMINACION. Ante los 6 eminentes científicos que le hicieron entrega del mensaje el Secretario General declaró: "Creo que la Humanidad ha comprendido al fin que en la Tierra y en torno a ella existe un delicado equilibrio entre los fenómenos físicos y biológicos que no debemos romper irreflexivamente en nuestra carrera desenfrenada por el camino del desarrollo Tecnológico. Nuestra preocupación común ante este grave problema general, que en sí entraña la amenaza de que la especie humana se extinga, acaso constituya el anhelado vínculo que una a todos los hombres. La batalla por la supervivencia de la humanidad solo pueden librarla todos los países, en un movimiento concertado para proteger la vida en nuestro Planeta".

En realidad el deseo del hombre de lograr más comodidades y riqueza, unido a la explosión demográfica, ha creado como producto colateral un problema de preocupación amplia: CONTAMINACION.

Los mismos desechos humanos han empezado a constituir una amenaza para EL en el AIRE, en el AGUA y en el SUELO, a tal grado que ha empezado a darse cuenta de que, a menos que ponga pronto remedio, será víctima de sus propios excesos. Este monstruo que el mismo ha creado puede resultar un adversario difícil.

Como muchos otros problemas engendrados por una Industrialización creciente y una población siempre en aumento, la "CONTAMINACION DEL AIRE" solo se puede agravar, a menos que se descubran y empleen formas de disminuirla. Desgraciadamente, la sociedad empieza a enfrentarse a sus problemas hasta que estos comienzan a interferir seriamente en la forma de Vida. Sólo entonces se emplean las Leyes y la fuerza tecnológica para hacer un esfuerzo para solucionar el problema. Desde luego es cierto y, se puede probar con Estadísticas, que los desperdicios de las fábricas contribuyen actualmente solo en un 30 % a nuestra contaminación total del Aire. Sabemos que el Motor de Combustión Interna que se utiliza en los automóviles, autobuses, camiones, aviones y otras formas de transporte aportan el 60% de toda la CONTAMINACION DEL AIRE en el Mundo actual.

No obstante, el hombre promedio ignora estas estadísticas y en general sigue aceptando que la industria es la culpable y que, puesto que ella ha ocasionado la contaminación debe pagar el precio. La legislación que se está desarrollando en la actualidad a menudo brota de una idea preconcebida y no del buen sentido tecnológico. Es razonable asumir que puesto que la CONTAMINACION DEL AIRE procedente de la Industria es una parte del problema total y que esta posee un mayor grado de

tecnología, podrá resolver sus problemas con mayor prontitud que otros sectores de la Sociedad.

Nuestra Patria, Ecuador, en proceso de Desarrollo Integral Industrial y consciente de la responsabilidad de enfrentar al problema de la CONTAMINACION AMBIENTAL ha iniciado ya programas de prevención y control con su respectiva Ley expedida recientemente. Programas de investigación y evaluación en Convenio con Instituciones de Educación Superior y Organismos Nacionales e Internacionales; sobretodo el proyecto de instalación de estaciones para medir calidad del Aire en las ciudades de mayor importancia industrial en el País, por lo tanto es evidente la preocupación nacional por detener la creciente CONTAMINACION.

Es preferible ahora preveer el problema y no después tener que remediar, como actualmente lo están haciendo los países industrializados. En base a la experiencia de aquellos. "Un dilema para el tercer mundo: Industrializar sin desvastar - solución: concebir un proyecto de civilización distinto".

Particularmente quien escribe, como Ecuatoriano consciente del deber que tengo para con mi Patria de asumir la responsabilidad de contribuir con un grano de arena para su desarrollo tecnológico y solución de sus problemas que trae consigo por un mejoramiento del nivel de vida y bienestar nuestro y, gracias a la preparación académica que el Estado me ha prodigado he preparado este pequeño y modesto estudio de evaluación de la problemática de la CONTAMINACION DEL AIRE con relación a la Industria Nacional.

El objetivo del estudio es realizar un análisis de evaluación cualitativo y representativo de las Plantas Industriales instaladas en el Territorio Ecuatoriano, como posibles fuentes de CONTAMINACION DEL AIRE. Registrar con criterios estadísticos su estado actual, sus orígenes y posibles soluciones de estos focos de Contaminación del Aire.

El plan a seguir para cumplir este objetivo es definir el problema estableciendo una clasificación de las Industrias y productos de desecho por su estado y naturaleza. Luego, un análisis descriptivo de los contaminantes del aire y sus efectos en el ambiente.

Estimo de especial interés el enfoque central en la Industria del cemento dada la importancia que tiene en nuestra ciudad "Guayaquil" y que está por constituirse en un problema muy crítico si no se toman las medidas inmediatas para su prevención y control de la contaminación atmosférica que está generando. Posteriormente hago hincapié en el proceso de elaboración del Anteproyecto de Ley y Decreto de Ley expedida para "Prevención y Control de la Contaminación" a cargo de Organismos competentes y Gobierno Nacional respectivamente.

Finalmente considero hacer delineamientos en criterios de selección de equipos industriales para eliminar solo partículas contaminantes del aire. Por último, un breve análisis de los aspectos económicos del problema.

Debo indicar que esta memoria no pretende dar las respuestas, pero intenta definir los problemas y discutir los medios posibles de solucionarlos.

1.2. JUSTIFICACION DEL ANTEPROYECTO

La segunda parte de esta memoria está orientada al proyecto preliminar de un Precipitador Electrostático Industrial aplicable como Sistema de Control de la contaminación del Aire en las Plantas de Producción de Cemento.

Nuestro País, en plan de incremento acelerado de su infraestructura ingenieril requiere de esta materia prima vital: Cemento, lo cual es evidente la demanda anual cada vez mayor y, para equilibrar con el servicio de oferta y evitar las importaciones que representa salida de divisas, ha tomado la responsabilidad de ampliar las plantas productoras en unos casos y en otros situar nuevas instalaciones.

En forma proporcional al aumento de dichas plantas se corre el peligro de contribución al problema de la CONTAMINACION ATMOSFERICA por los desechos emitidos por los escapes respectivos. La responsabilidad técnica conciente de la situación crítica que puede provocar en el medio debe instalar óptimos sistemas de control para neutralizar la polución que genera.

Para poder eliminar polvos de cemento y evitar sean emitidos a la atmósfera se requiere de filtros operando con Fuerzas Electrostáticas. Así lo recomienda la investigación y experiencia profesional de trabajos al respecto, puesto que se requiere de una alta eficiencia de recolección, lo cual estos dispositivos ofrecen mucha garantía. Dada la importancia de instalación de estos equipos y por su diseño complejo y de precisión que se requiere, el costo es demasiado elevado, por consiguiente implica que nuestras Plantas de Cemento no son esti-

muladas para la obtención de estos Sistemas de Control. Entonces esta ha sido la motivación que en cierta forma creo se justifica, para emprender estudios preliminares con miras a la factibilidad de Diseño y Construcción en nuestro País para oferta y demanda propia y aplicaciones variadas de los Precipitadores Electrostáticos en la Industria en general, con proyecciones futuras de producción en serie y poder entrar en el Mercado Internacional y, por consiguiente un punto positivo - mas para el desarrollo Tecnológico que en esta última fracción del siglo XX ha emprendido nuestra Patria que se llama: Ecuador.

El estudio del anteproyecto en consideración básicamente asienta sus propósitos en el análisis de un modelo experimental en planta piloto, introduciendo además ciertos aspectos teóricos cuyo objetivo es ampliar los criterios de diseño como orientación para el proyecto definitivo. La selección del óptimo se verifica de acuerdo a criterios.; luego el cálculo de diseño, en el mismo de capacidad hipotética considerada, de las principales variables como para iniciar la construcción experimental de primera aproximación del sistema.

El proceso de cálculo a seguir servirá como "cálculo patrón" para un sistema de capacidad específica en estudios preliminares, de alguna aplicación en particular.

A continuación se ha demostrado el grado de factibilidad de construcción de este equipo en Ecuador por los materiales y Tecnología de fabricación necesitada y que disponemos de acuerdo a las principales industrias nombradas con capacidad para proveer lo requerido.

Finalmente se hace hincapié en aspectos económicos generales relacionados con el sistema.

CAPITULO 2

LA INDUSTRIA Y LA CONTAMINACION DEL AIRE

2.1. DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1.1. ¿Qué es la Contaminación del Aire?

La Contaminación del Aire se ha definido de muchas formas. La primera de ellas considera: "Como los cambios substanciales en la composición de la atmósfera que alteran el balance ecológico de las formas de vida terrestre". Otro criterio: "Es la adición a nuestra atmósfera de cualquier material que tenga un efecto perjudicial en los seres vivos de nuestro planeta". Este material puede ser una partícula irritante que tenga un efecto perdurable en el organismo que lo recepta o quizás un hidrocarburo tóxico gaseoso que pudiera ocasionar problemas semejantes. Pueden ser radiaciones atómicas, invisibles pero dañinas para las células animales o vegetales.

Un contaminante es "ALGO" que al ser introducido en la atmósfera por alguna acción de la naturaleza o por vías artificiales, reduce el contenido de O_2 o cambia en forma significativa la composición del Aire.

Un Contaminante Atmosférico no tiene necesariamente por fuerza que ser inhalado. Por el simple hecho de estar en el aire es "CONTAMINANTE". La palabra SMOG (neblumo) se adoptó para describir una mezcla de smoke (humo) y fog (niebla). Ahora se emplea para describir cualquier tipo de Contaminación atmosférica grande, que puede contener muchos más ingredientes

perjudiciales que la niebla y el humo. En general el SMOG formado por grandes cantidades de gases y partículas y que se observa en muchas de las ciudades principales del mundo desde hace unos 15 años: Londres, Tokyo, New York, Los Angeles, etc. y en estos últimos años: México, D.F., Río de Janeiro, - Buenos Aires.... Recientemente Bogotá entró al grupo de ciudades con problemas de Smog.

En ciudades Ecuatorianas como Quito-Guayaquil-Esmeraldas por su crecimiento industrial y poblacional ya hay tendencias de caer en el peligro del Smog.

El Smog, forma una capa que impide la penetración de algunas de las radiaciones solares, tan esenciales para la vida en la Tierra. Esta capa altera los patrones de absorción del calor en la superficie terrestre y puede evitar la irradiación del calor de la tierra hacia el espacio. El resultado en este último caso es el "Efecto de Invernadero" o llamado también de "Inversión Térmica" (diagrama 2.1 - 2.2) que con el tiempo transtorna el clima y los patrones de temperatura en toda la superficie del Planeta.

En particular, pienso que estos efectos, se han sentido - en cierta forma en el Ecuador originados por Contaminación del Aire en Países Industrializados, y por radiaciones atómicas de explosiones nucleares experimentales en el Océano Pacífico llevadas a cabo por Francia; efectos tales como variación de la precipitación pluviométrica normal en diferentes épocas del año, olas de frío, de calor, etc.

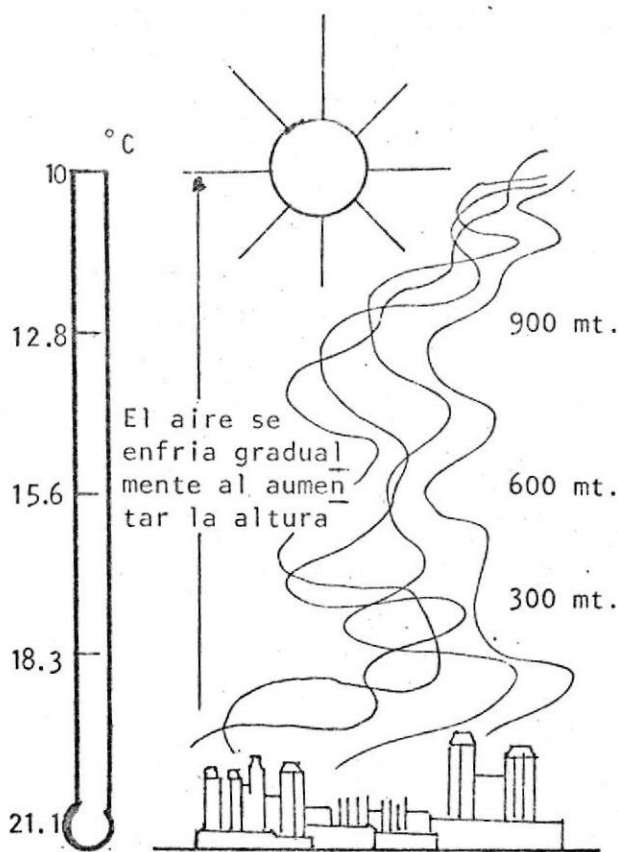


DIAGRAMA 2.1. De una inversión día claro - No hay inversión, algo de viento

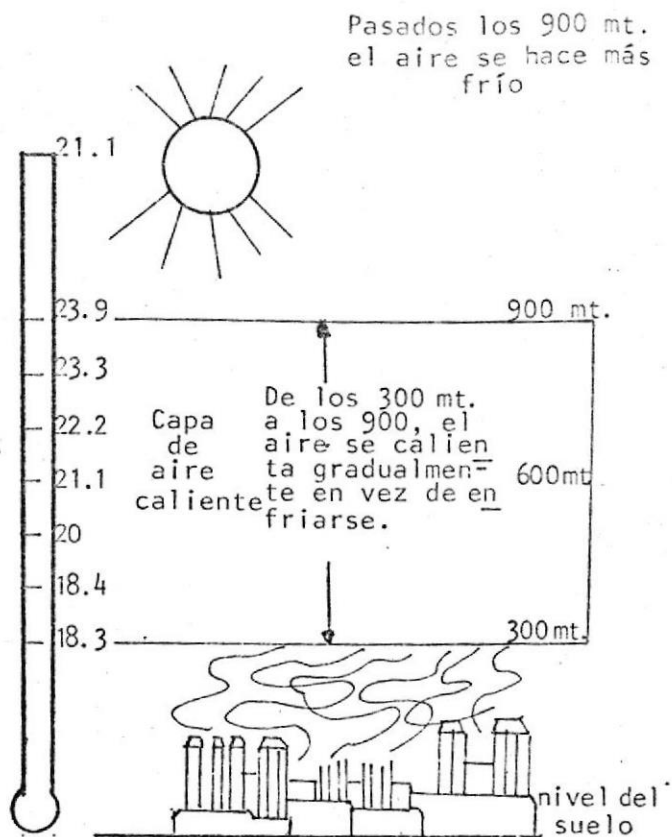


DIAGRAMA 2.2. Día claro - Inversión poco viento

2.1.2. Fuentes de Contaminación del Aire

Las principales categorías de "Contaminación del Aire" se pueden considerar de los siguientes orígenes : 1) Transporte, 2) calefacción doméstica, 3) producción de energía eléctrica, 4) Incineración de desechos, 5) combustión de las Industrias y emisiones debidas a los procesos de las mismas, 6) explosiones Nucleares y uso de plaguicidas.

Resulta difícil asignar los porcentajes exactos a cada una de estas clasificaciones debido a la falta de suficiente información mundial. Pero parece razonable aceptar que el transporte de todas clases, es decir. Los vehículos de motor de combustión interna y los de motor de turbina, aportan aproximadamente un 60% de las emisiones anuales mundiales totales que

contaminan el aire. La producción de Energía Eléctrica contribuye con un 10 - 15%. La calefacción doméstica con un 10%. A las emisiones del consumo industrial de combustible y a los productos del proceso de fabricación les corresponde un 20%; a la incineración de desechos aproximadamente 5%. Puesto que no vivimos en una sociedad estática, estas cifras aproximadas también lo son. Además de estas emisiones principales existe una serie de Contaminantes de menor importancia que, aunque no sean significativos a pesar de todo contribuyen a agravar el problema general. Algunos de los que hay que tener en cuenta parecen tan pequeños como por ejemplo. La contaminación producida por las partículas de caucho quemado de las llantas de los vehículos, humo que sale de las llantas de un avión al entrar en contacto con la pista y cuando frenan repentinamente los vehículos que van a gran velocidad, los compuestos orgánicos de los perfumes y lociones para después de afeitarse, polvo al aire proveniente de la remoción de tierra en clima seco y viento en las construcciones, humo del tabaco, el polvo cósmico, el sulfuro de H₂ de fuentes naturales, aerosoles para eliminar plagas en los jardines, la descomposición de la vegetación en los bosques, pantanos, las bolas de naftalina que desprenden Naftaleno, cosas tan sencillas pero que contribuyen a la "CONTAMINACION DEL AIRE".

Las principales fuentes Industriales de "CONTAMINACION DEL AIRE" se han clasificado así:

- a) Refinamiento del Petróleo.- Con emisiones de partículas, Oxidos de azufre, de hidrocarburos y de monóxido de Carbono.
- b) Fábricas del cemento.- Con emisiones de partículas.

- c) Fundidoras (AL, Cu, Pb, Zn, etc.).- Con emisiones de Partículas y Óxidos de Azufre.
- d) Fundición bruta de moldeo de Fe.- Con emisiones de partículas y de Monóxido de Carbono.
- e) Kraft, Pulpa y Molinos de papel.- Con emisiones de partículas, Oxidos de Azufre y Monóxido de Carbono.
- f) Limpieza y desecho de Coque.- Con emisiones de partículas, Óxidos de Azufre y Monóxido de Carbono.
- g) Coque (Empleado en la fabricación del acero).- Con emisiones de partículas, Oxidos de Azufre y Monóxido de Carbono.
- h) Fábricas de Fe y Acero.- Con emisiones de Partículas y Monóxido de Carbono.
- i) Molinos de grano y fábricas de productos derivados.- Con emisiones de partículas.
- j) Fábricas de fertilizantes Fosfatados.- Con emisiones de partículas.

Aunque hay otras muchas fuentes industriales de contaminación, las anteriores son las que ocasionan en mayor cantidad y, por lo tanto, las que representan un peligro mas inmediato y las que demandan el mayor interés.

Es significativo resaltar que en 1968 la tasa promedio mundial de gastos invertidos en el Control de la "CONTAMINACION DEL AIRE" en relación con el Capital total en toda la industria fue solo de 1.65%. Es evidente que esta proporción aumentará en los próximos 10 años y probablemente muchas industrias llegarán casi al 5%.

En nuestro País, Ecuador, los niveles principales de "CONTAMINACION DEL AIRE" provienen de: 1) Transporte, 2) Combustión de las Industrias y Emisiones debidas a los procesos de las mismas, 3) Producción de Energía eléctrica, 4) Eliminación de desechos sólidos, 5) Uso de Plaguicidas.

Transporte.- Este problema básicamente se refiere a la combustión incompleta, de los motores de gasolina-diesel y turbinas a gas del servicio de transporte terrestre, marítimo y aéreo y, al uso del antidetonante: Tetraetilo de Pb en la gasolina. Bien, Ecuador como país en vías de desarrollo todavía importa estas maquinarias y lo seguirá haciendo por lo menos en algunos años más, entonces lo recomendable es exigir a las autoridades nacionales que controlan la importación, que dicha maquinaria venga en óptimas condiciones de combustión de acuerdo a las últimas investigaciones de los países exportadores y, que signifique además un balance equilibrado de Costos: Ambiental y de control (detalles de estos conceptos ver Cap. 8: Análisis económico).

Ecuador ya inició la etapa de la Industria de Ensamblaje de carros con el ANDINO y, posteriormente se incrementará con la asignación del Pacto Andino del Acuerdo de Cartagena, Colombia. Entonces es un deber de la responsabilidad de los técnicos, diseñar algún sistema de filtros colocados en el escape y de esta manera neutralizar en parte la Contaminación por combustión incompleta y Pb.

Combustión de las industrias y Emisiones contaminantes debidas a los procesos de las mismas.- En las Industrias estacionarias

pesadas nacionales el sistema de combustión opera por lo general con Petróleo crudo, con quemadores de eficiencia no lo suficiente óptimos como para pensar necesariamente en acoplar sistemas de filtros a las chimeneas de las mismas y garantizar un ambiente favorable para la salud y el bienestar.

Por la importancia que reviste voy a detenerme en las fuentes de las emisiones contaminantes industriales de mayor peligro en Ecuador.

Refinamiento del Petróleo.- Ecuador, actual miembro de la OPEP, a través de la dirección de C.E.P.E. dispone de una Refinería en la Península de Sta. Elena y otro complejo a terminarse a fin de año (1976) en Esmeraldas. Por sus procesos petroquímicos está en condiciones de enviar a la atmósfera como productos de desecho: partículas. Oxidos de Azufre - hidrocarburos y Monóxido de Carbono, lo cual representa un peligro para la calidad ambiental y debe sugerirse modificar al óptimo los procesos de Refinación o instalar Sistemas de Control de tratamiento del aire en los escapes peligrosos.

En Derivados del Petróleo.-*Tabla 2.1. Muestra las categorías industriales ecuatorianas de mayor cuidado y control.

Fabricación de cemento.- Tabla 2.2. similar a la anterior.

Fundición.- Tabla 2.3. Similar.

Kraft, Pulpa y Papel.- Tabla 2.4. similar.

Industrias Básicas de Fe y Acero.- Tabla 2.5. Similar.

Molinos de Grano y Productos derivados.- Tabla 2.6 similar

Abonos.- Tabla 2.7. Similar.

* Tablas 2.1-2.2-2.3-2.4-2.5-2.6-2.7-2.10-2.11-2.12-2.13-2.14-2.16-2.17 al final del Cap.

Producción de Energía Eléctrica.- Aquí en Ecuador la generación del fluido eléctrico se verifica en sistemas: Hidroeléctricos turbogeneradores a vapor y gas y Diesel.

Para la generación de vapor se requieren calderas quemando por lo general petróleo crudo en sus hogares, con la eficiencia de combustión que implica escapes de partículas y gases contaminantes.

En las turbinas a gas, tenemos también desechos de combustión incompleta; lo mismo que en los grupos Electrogenos a Diesel.

Por lo tanto es evidente la instalación de diseños óptimos para control de los escapes contaminantes en estos sistemas.

En Guayaquil y Quito cuya gran demanda de Energía eléctrica requiere de altas capacidades de producción del potencial, tenemos plantas (EMELEC - INECCEL - EMELQUITO, etc.) con generación en todos los sistemas que contribuyen a la Contaminación Ambiental. Además nuestro País está en proceso de desarrollo de Electrificación Integral, por consiguiente es de primer orden pensar ya en la creación de departamentos de investigación para control de la Contaminación del Aire por efectos de esta causa.

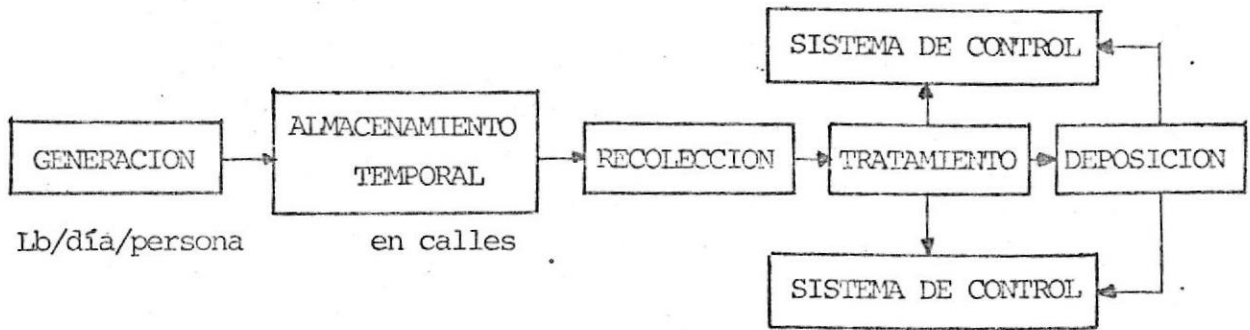
Eliminación de Desechos Sólidos.- La eliminación de desechos sólidos de los procesos industriales, debe empezar a ser ya en Ecuador motivo de gran preocupación para los Ingenieros y gerentes con sentido de responsabilidad y que dirijen las diferentes industrias.

Cualquier método que se emplee tiene que servir a los intereses generales de la población así como a la misma industria. Por lo tanto, los procedimientos que se empleen para deshacerse de todos los desperdicios tienen que diseñarse con miras al futuro distante, no como solución temporal.

METODOS PARA ELIMINAR DESECHOS SOLIDOS

M E T O D O	OBSERVACIONES
Amontonarla en basu <u>re</u> ros.	Mal aspecto, posibles incendios, mal olor, contaminación del sue <u>lo</u> y del agua subterránea, mé <u>to</u> do barato.
Enterrarla	Contaminación del agua subterrá <u>ne</u> a mejora el método si se desmenuza la basura. Costo moderado.
Incineración	Eficaz solo si se hace en forma adecuada y con equipo corrector de la "Contaminación del Aire" en caso necesario. Método caro.
Recuperación	Muy poco desarrollado y dependiente del mercado para los pro <u>ductos</u> . No se ha demostrado su costo.
Fabricación de abono	Abulta mucho y hay problemas de olor. Método de costo moderado.

Las fases de manejo de desperdicios sólidos de consumo poblacional se considera así:



Es recomendable el tratamiento en bloques compactos para relleno Sanitario o como combustible junto al crudo de petróleo en la generación de Energía eléctrica.

Aquí en nuestro medio todavía se lo hace con amontonamiento en basureros o en "quema" en campo abierto: problema porque no se combustiona completamente y genera contaminante gaseosos-material particulado - moscas - pestes.

Plaguicidas. - Es importante tener presente la optimización del uso de plaguicidas en nuestra agricultura porque el beneficio en dicha área puede ocasionar el deterioro de la atmósfera que nos rodea.

2.2. CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN EL AMBIENTE

En la definición del termino "CONTAMINACION DE AIRE": tenemos 3 palabras básicas de importancia que son: SUBSTANCIAS consideradas contaminantes de aire, CONCENTRACION Y EFECTOS las cuales merecen una descripción detalladas.

2.2.1. AIRE LIMPIO.- La tierra está rodeada aproximadamente por 500.000 millones de toneladas de aire. El aire limpio del campo puede contener monóxido de Carbono, Metano, Amonio, Oxidos de Nitrógeno y Ozono. Estos gases que normalmente se conside-

ran contaminantes, tienen su origen en procesos naturales en pequeñas cantidades. También se pueden encontrar partículas en forma de gotitas de agua, polen, cenizas volcánicas. Los olores desagradables provienen de la putrefacción. Por lo tanto, el problema de la Contaminación Ambiental se puede considerar un asunto de concentración. En tabla 2.8 se observa la composición típica de aire limpio y seco a nivel del mar.

T A B L A 2.8

COMPONENTE	FORMULA	% POR VOLUMEN	P.P.M.*
Nitrógeno	N ₂	78.09	780900
Oxígeno	O ₂	20.94	209400
Argon	Ar	0.93	9300
Dióxido de Carbono	CO ₂	0.033	330
Neon	NE	18×10^{-4}	18
Helio	HE	5.2×10^{-4}	5.2
Metano	CH ₄	1.5×10^{-4}	1.5
Kripton	Kr	1.0×10^{-4}	1.0
Hidrógeno	H ₂	0.5×10^{-4}	0.5
Oxido Nitroso	N ₂ O	0.5×10^{-4}	0.5
Xenon	XE	0.08×10^{-4}	0.08
Ozono	O ₃	0.07×10^{-4}	0.07
Amoniaco	NH ₃	0.01×10^{-4}	0.01
Yodo	I ₂	0.01×10^{-4}	0.01
Dioxido de Nitrogeno	NO ₂	0.001×10^{-4}	0.001
Dioxido de Azufre	SO ₂	0.0002×10^{-4}	0.0002
Monoxido de carbono	CO	—	—

* P.P.M. = partes por millón

Los contaminantes del aire se pueden incluir en 2 grandes clasificaciones generales: los gases y las partículas.

Las partículas arrastradas por la corriente de aire son di

minutas y pueden ser sólidas o líquidas, por ejemplo: el humo de un fuego. Los gases son materiales que, a las temperaturas y presiones atmosféricas usuales, se encuentran en forma gaseosa. El aire mismo es una mezcla de gases. Las partículas contaminantes se pueden ver, pero la mayoría de los gases son invisibles a simple vista pero irritan los ojos y las mucosas.

O también en emisiones contaminantes: a) Naturales; b) Artificiales. Pero también la clasificación de contaminantes de aire puede hacerse de varias formas específicas, dependiendo del propósito o uso específico que se le va a dar a dicha clasificación. Así tenemos basada en la geometría de la fuente emisora, en contaminantes: a) Puntiformes; b) De área; c) De línea.

Podría también clasificarse con respecto a la naturaleza de los procesos que los generan: como sería contaminantes provenientes de la generación de energía, de la transformación, etc.

Con respecto a las estrategias a usarse para el control de la contaminación Atmosférica se clasifican como: contaminantes comunes, los cuales son aquellos que ocurren comunmente o dispersos geográficamente; y en contaminantes peligrosos, los cuales afectan significativamente la salud pero provienen únicamente de algunos emisores específicos y por tanto no se encuentran geográficamente desparramados.

Por último existe una forma adicional de clasificar en: Contaminantes; a) Primarios, cuando se emite en la atmósfera y conserva en ella su identidad química; b) Secundarios, si una sustancia reacciona químicamente en la atmósfera formando una o

más sustancias con poder contaminante, estas formadas son los llamados Contaminantes Secundarios.

Para los efectos de esta memoria se seguirá una clasificación mixta, mencionando los contaminantes de mayor interés con sus características más importantes.

2.2.2. PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE.- Se considera así: Material particulado - Contaminantes gaseosos: Compuestos de Azufre - Compuestos de carbono - Compuestos de Nitrógeno - Oxidantes Fotoquímicos.- Hidrocarburos y otros compuestos orgánicos. Otros: Pb - Asbestos - Berilio - Mercurio.

Material particulado.- En el término Partículas se incluyen a todas las sustancias atmosféricas que no son gases: iones, conglomerados moleculares, cristales de hielo, polvo, partículas de humo, gotas de lluvia, polen e incluso insectos, es decir, pueden ser tanto sólidas como líquidas que permanecen en la atmósfera un período dado de tiempo.

El parámetro más importante desde el punto de vista de la Contaminación Atmosférica es su tamaño. Las propiedades tóxicas y ópticas dependen especialmente del tamaño de la partícula, que además determina el tiempo que la misma permanece en la atmósfera como también en la facilidad con que se puede controlar su emisión. Otros parámetros de importancia son sus características químicas y físicas.

El material particulado se produce de: a) Fuentes naturales de emisión como volcanes - el polen que el viento transporta de un lugar a otro, factores muy importantes para la determi-

nación de la concentración natural; y b) En varios procesos - industriales: quema de petróleo y carbón - refinación de petróleo - quema de desperdicios sólidos - producción de cemento - canteras de producción de agregados - movimiento de tierras - automóviles - industrias químicas - producción de papel, etc. son fuentes de importancia.

La tabla 2.9 se refiere a las emisiones mundiales de material particulado de ciertos tipos principales de industrias - durante 1969, que nos sirve como referencia para tener presente el gran volumen de partículas que está contaminando nuestra atmósfera terrestre.

T A B L A 2.9

INDUSTRIA	EMISION GLOBAL (1969) x 10 ⁶ Ton/año
Fundiciones de FE y Acero	915
Manejo de granos, almacenamiento - Harinas y Molinda Alimentos.	112
Cemento	513
Pulpa y papel	90

El diagrama 2.3 (Cap. 10) compara una amplia gama de materiales que forman partículas, tanto de origen natural como artificial. También compara la eficiencia de varias técnicas de recolección y de algunos métodos de medición de las partículas.

Para el estudio de los materiales que forman "partículas en

suspensión" resulta útil clasificarlas en 3 grupos, así como para estudiar sus propiedades y efectos: 1) Menores de 0.1 micras, 2) de 0.1 - 1.0 micras; y 3) Mayores de 1.0 micra.

El que menos se ha estudiado científicamente es el grupo de las partículas menores de 0.1 micra. En este tamaño se encuentran los iones y los núcleos Aitken (detalles ver Apéndice - Cap. 10). En las Atmósferas urbanas contaminadas se encuentra un número elevado de partículas sin carga (núcleos Aitken), menores de 0.1 micra. Los datos químicos con que se cuenta son muy escasos debido a su pequeño tamaño, pero el número de estas partículas varía directamente al cambiar los ciclos de contaminación y los de Fotosíntesis vegetal. Su número varía de menos de $1000/\text{cm}^3$ en muestras de aire del océano a más de 300000 en zonas urbanas en los graves episodios de contaminación.

Las posibles fuentes son: el rocío del mar, tormentas de polvo, volcanes, incendios forestales, descargas automotrices, reacciones de fotooxidación, vapores de la vegetación y efluentes industriales.

Las partículas de 0.1 - 1.0 micra se forman principalmente por condensación de los vapores y productos de combustión. Otras fuentes incluyen el polvo atmosférico y la espuma marina. Se sedimentan tan lentamente que permanecen en las masas de aire durante meses.

Estas partículas son la causa de la neblina y de la disminución de la visibilidad (detalles cap. 10 Apéndice).

Las partículas de mas de una micra tienen velocidades de sedimentación bien definidas y especialmente las mayores de 10 micras. Proceden de la aglomeración de partículas resultantes de la combustión, de cenizas, de polvos. En esta categoría en tran también las gotas de lluvia, los copos de nieve, el po len y los insectos.

Contaminantes gaseosos.- Las concentraciones de algunos conta minantes gaseosos que se han designado como peligrosos se con siderarían en la química analítica usual como "huellas". Rara vez son superiores al 0.001% en volumen en una muestra atmos férica.

El % en volumen resulta, en consecuencia, una forma inade cuada para expresar la concentración para el trabajo en "Con- taminación del Aire" y rara vez se usa. Los términos más comu nes para concentración en volumen son partes por millón (PPM), partes por 100 millones (PPCM) y partes por 1000 millones (PP MM). Son expresiones que indican claramente lo que implican.

Ultimamente se ha preferido emplear el peso del contami nante por unidad de volumen para las medidas de Contaminación del aire. Las unidades que se usan más a menudo son los Mi crogramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los contaminantes gaseosos más comunes son: el monóxido de carbono, el anhídrido sulfuroso y los oxidantes que forman el Smog, tales como el bióxido de Nitrógeno y el Ozono. Cabe indicar que a menudo se presentan efectos sinérgicos y reacci ones entre los contaminantes, como resultado de la presencia - del vapor de agua, del oxígeno atmosférico y de la luz solar.

El bióxido de carbono también se ha incluido puesto que es un gas venenoso y se produce como desecho tecnológico.

Compuestos de Azufre.- El grupo de contaminantes más dañinos y destructores de todos es el relacionado con el átomo de azufre.

Incluye varios óxidos de azufre (SO_x) y otros compuestos - que generalmente son mal olientes. El término SO_x incluye generalmente SO_2 y SO_3 . El Bióxido de azufre o anhídrido sulfuroso (SO_2) es la emisión industrial de más importancia en este grupo. Es un gas cuyos efectos se pueden comprobar fácilmente en las plantas y animales.

En la atmósfera el SO_2 puede reaccionar con el O_2 fotoquímica catalíticamente para formar trióxido de azufre o anhídrido sulfúrico (SO_3) compuesto muy Higroscópico que se combina rápidamente con el vapor de agua para formar llovizna de ácido sulfúrico: $S + O_2 \longrightarrow SO_2$; $SO_2 + 1/2 O_2 \longrightarrow SO_3$ $SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2 SO_4$.

Estas son extremadamente corrosivas para las construcciones y tienen propiedades tóxicas que son proporcionales al tamaño de la partícula.

Las fuentes más populares del SO_2 - SO_3 son: La quema de combustible, carbón - petróleo - gas natural así como el refinamiento o procesamiento de estos materiales, la fundición de minerales y la producción de ácido sulfúrico.

Las elevadas concentraciones de SO_2 se encuentran en las zonas urbanas industrializadas. Son tan abundantes que el ácido

sulfúrico y los sulfatos constituyen en general del 5 - 20% de todas las partículas suspendidas en las muestras de aire de las ciudades y a menudo ocasionan una disminución grave de la visibilidad. La tabla 2.10 nos da una idea de las fuentes de emisión más importantes para los óxidos de azufre en términos globales.

Compuestos de carbono.- Bióxido de Carbono.- Los efectos a largo plazo de un aumento constante de la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera, procedente de las combustiones es objeto de preocupación para muchos investigadores. En los últimos 50 años este aumento ha ascendido hasta casi 10% en algunas zonas urbanas y se espera que la tendencia continúe e incluso suba. Para el año 2000 se espera que haya un 18% adicional y de acuerdo con algunos científicos, el bióxido de carbono atmosférico podría llegar a duplicarse en un futuro no lejano. El resultado previsto sería el "efecto de invernadero" según el cual la temperatura media de la tierra subiría lentamente y con el tiempo se derretiría el hielo polar inundándose las ciudades de las costas y cambiando inclusive el equilibrio terrestre.

Monóxido de Carbono.- En el mundo actual el contaminante que mas abunda es el Monóxido de Carbono (CO). Es un gas incoloro inodoro, que se combina preferentemente con la hemoglobina de la sangre bloqueando el sistema de transporte de oxígeno del cuerpo y, por tanto no se puede detectar por los sentidos humanos y se sigue considerando erróneamente inofensivo.

La fuente principal de CO es la combustión incompleta de

combustibles carbónicos, que tiene lugar cuando no hay ni suficiente tiempo ni oxígeno para que se convierta completamente en bióxido de Carbono, relativamente inofensivo con relación al primero.

El motor de gasolina funciona por una combustión casi instantánea de una mezcla de combustible-aire y produce CO en cantidades de hasta 7% en los automóviles nuevos y ajustados en fábrica.

Eliminar las emisiones de CO casi por completo, de hecho, es imprescindible por razones económicas, además de evitar contaminación, porque la producción de CO implica una pérdida de 2/3 partes de la energía calorífica disponible.

Otras fuentes importantes de Contaminación con CO incluyen la incineración de basura y las industrias como fundidoras, refineries de petróleo, molinos para pulpa Kraft y fábricas de acero.

Las cifras medias de concentración de CO en las colectividades urbanas a menudo llegan a 50 PPM, debido a los motores de combustión interna que es la fuente individual más grande del monóxido de carbono y por tanto representa un serio problema de Contaminación Atmosférica. La tabla 2.11 resume las emisiones globales producidas por el hombre, de CO.

Compuestos de Nitrógeno.- En la atmósfera 3 óxidos de nitrógeno son importantes: N_2O (Oxido Nitroso), NO (Oxido Nítrico) y NO_2 (dióxido de nitrógeno). Estos compuestos son gases bajo condiciones normales.

Formas particuladas de compuestos nitrógeno también existen en la atmosfera en forma de aerosoles de ácido nítrico (HNO_3) y sus sales (nitrato de amonio, NH_4NO_3) ácido nitroso (HNO_2) y sus sales.

Las fuentes humanas principales de NO y NO_2 son los procesos de combustión en los cuales las temperaturas son lo suficientemente altas para oxidar el nitrógeno atmosférico presente en el aire. La reacción de oxidación que ocurre es $\text{N}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}$; $2\text{NO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2$.

La tabla 2.12 nos muestra las fuentes principales globales de los óxidos de nitrógeno.

Hidrocarburos y otros compuestos orgánicos.- Por hidrocarburo entendemos compuestos orgánicos de H_2 y carbón. Debido a que los combustibles fósiles principales: carbon, petróleo y gas natural son esencialmente hidrocarburos, la combustión de estos materiales y los escapes durante su uso y transportación son las principales fuentes artificiales de dichos contaminantes.

Los hidrocarburos son importantes desde el punto de vista de control de contaminación ambiental debido a que son sustancias muy activas químicamente y al reaccionar en la atmosfera producen otras sustancias, como la niebla fotoquímica, las cuales causan serios efectos ambientales. Todos los petróleos crudos son venenosos pero muchos destilados de ellos lo son aún más, dado que contienen proporciones más elevadas de compuestos inmediatamente tóxicos.

Algunos subproductos de petróleo como el kerosene y aceite

combustible N° 2 son particularmente ricos en solubles venenosos de bajo punto de ebullición, mientras los de altos puntos son ricos en "AGENTES CARCINOGENOS".

Otros compuestos orgánicos tóxicos incluyen los plaguicidas y los hidrocarburos aromáticos polinucleares. El desarrollo prodigioso de la industria de agentes químicos sintéticos con propiedades insecticidas es espectacular. Los insecticidas modernos aun más letales.

Uno representado por el DDT (dicloro - difenil - Tricloro-etano) son conocidos como hidrocarburos clorados. Una de las más siniestras características del DDT es la forma como este compuesto se transfiere de un organismo a otro através de los eslabones de la cadena alimentaria. La tabla 2.13 resume las emisiones globales de hidrocarburos.

Oxidantes Fotoquímicos.- Conocido con el nombre de Smog fotoquímico es producido por la acción de la luz del sol en los componentes hidrocarbonados y óxidos de nitrógeno procedentes de los escapes de los vehículos para producir una mezcla compleja y tóxica de gases que se combina con la niebla y el humo. El oxidante fotoquímico es el resultado de una serie muy complicada de reacciones, muchas de las cuales apenas se sospechan todavía. Apenas se está empezando a comprender en que consiste el fenómeno, pues casi todas las investigaciones se han hecho en los últimos 10 años. En el diagrama 2.4 se exponen.

En general el término oxidante fotoquímico se refiere a los

3 compuestos: Ozono, NO_2 y PAN (Nitrato de peroxiacilo).

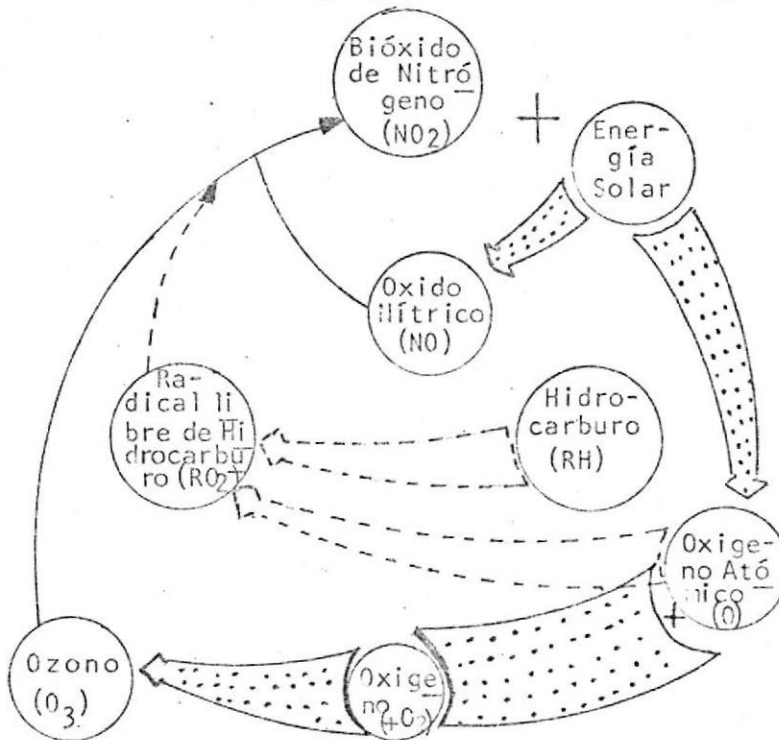


DIAGRAMA 2.4. Interacción de los Hidrocarburos con el bióxido de Nitrógeno atmosférico, en presencia de Oxígeno y Luz Solar.

Otros contaminantes de Aire.- **PLOMO:** Este incluye los óxidos y las sales de Pb que se emiten de los automóviles. La otra fuente importante son facilidades de procesamiento del material.

ASBESTOS: Los asbestos son un grupo mineral de silicatos de MG que existen en forma fibrosa. Este mineral tiene varios usos tales como: material de construcción, bandas de freno de carro y se está transformando en un contaminante muy importante debido a su aumento en uso.

OBSERVACION.-Aquí en Ecuador todavía no se toman las debidas precauciones para evitar contaminación durante el proceso de fabricación de materiales de construcción de asbestos. Es importante para seguridad primero de sus trabajadores y luego el ambiente exterior.

BERILIO: El más importante es el óxido de berilio que es un compuesto químico extremadamente inerte. Parece polvo de Tiza.

MERCURIO.- El mercurio volatizado es venenoso cuando se inhala.

2.2.3. EFECTOS EN EL AMBIENTE.- Se han establecido abundantes pruebas de que la "CONTAMINACION DEL AIRE" daña la vegetación, acelera el deterioro de los materiales, perjudica a las construcciones, afecta al clima, disminuye la visibilidad y la radiación solar, agrava las relaciones públicas, hace aumentar los costos de producción, contribuye a provocar riesgos, interfiere en el gozo cómodo de la vida y de la propiedad y es un factor evidente de la morbilidad y mortalidad humana y animal.

Efectos en la Salud Humana.- La susceptibilidad humana a los contaminantes del aire varía mucho, además el número de contaminantes y las concentraciones combinadas de cada uno son prácticamente infinitas, por lo tanto lo mejor que se puede hacer es determinar las correlaciones posibles entre las exposiciones crónicas a la contaminación del aire y los efectos que tienen en la salud.

Los efectos crónicos son dignos de preocupación. Los estudios epidemiológicos y clínicos han asociado los diversos contaminantes del aire a todos los padecimientos desde el catarro común hasta el cáncer. La tabla 2.14 resume los efectos nocivos en la salud a niveles de concentración críticos de los contaminantes del Aire más peligrosos. El diagrama 2.5 (Cap. 10)

muestra el % de material particulado retenido en el sistema respiratorio vs. tamaño de la partícula.

Efectos que ejercen en la salud algunas emisiones industriales específicas.- La tabla 2.15 se refiere al valor límite permisible de las industrias.

T A B L A 2.15

VALOR LIMITE PERMISIBLE DE LAS INDUSTRIAS

SUBSTANCIA	VALOR LIMITE —————▶ PERMISIBLE	
	PPM	MG/m ³
G A S E S		
Acroleina	0.1	0.25
Monóxido de carbono	50	55
Fluoruros	-	2.5
Formaldehído	5	6
Heptano (n-heptano)	500	2000
Sulfuro de hidrógeno	500	1800
Dióxido de nitrógeno	10	15
Ozono	5	9
Anhidrido sulfuroso	0.1	0.2
P A R T I C U L A S		
Arsénico	-	0.5
Berilio*	-	0.002
Plomo	-	0.2
Ácido sulfúrico	-	1
Vanadio (V ₂ O ₅)	-	-
Polvo	-	0.5
Humo	-	0.1

*Los niveles umbral (en comunidades) para esta substancia son de 0.00001 MG/m³ como promedio de 30 días.

Hay que hacer resaltar que los valores del límite y otras normas de salud laboral se han establecido basándose casi siempre en una exposición de 8 horas de personas generalmente sanas. Cabe indicar que difieren en varios grados de magnitud, los niveles aceptables de los contaminantes en el aire para la salubridad pública y laboral.

A continuación tenemos una revisión de las emisiones industriales que tienen importancia en la contaminación general del aire.

ASBESTO: Las partículas de asbesto son agentes causales que se encuentran comunmente en los pulmones de las personas que tienen asbestosis, calcificación pleural, placas pleurales, - cáncer pulmonar y mesoteliomas pleural y peritoneal. La exposición crónica a cualquier concentración de asbesto constituye un peligro público.

BERILIO: Como referencia debo indicar que la ciudad de New York ha establecido un límite de calidad del aire en lo que respecta al Berilio, de 0.01 microgramos por m^3 (promedio de 24 horas).

Estos compuestos son extremadamente tóxicos, pero se encuentran frecuentemente como Contaminantes atmosféricos en los confines y en la proximidad de las fábricas que producen o utilizan sustancias que contienen berilio.

Los estudios realizados descubrieron casos de intoxicación crónica y concentraciones relativamente elevadas de berilio.

PLOMO: Un investigador Norteamericano (John R. Goldsmith) pro

puso que se estableciera un estandar promedio a largo plazo - de $2\mu\text{G}/\text{m}^3$ en las zonas en que la Contaminación procede principalmente de los vehículos de motor. El plomo tiene efectos acumulativos, incluso mortales a partir de ciertas concentraciones, en los casos de ingestión o inhalaciones reiteradas, intoxicaciones posibles aún con una sola exposición.

Efectos de la Contaminación del Aire en los Animales.- Además de estar sometidos a los perjuicios de inhalaciones de aire - contaminado, los animales pueden caer enfermos por comer alimento contaminado desde el aire. Aunque la concentración en el aire de un determinado contaminante sea demasiado baja para ocasionar daños por inhalación, la acumulación y la concentración de contaminantes del aire en la vegetación y en el forraje pueden producir una intoxicación posterior a la ingestión de los alimentos contaminados.

En varios casos se han identificado los siguientes agentes responsables: fluoruros, arsénico, molibdeno, plomo y Zinc. La negligencia o el mal uso de los plaguicidas, inclusive de aquellos que contienen mercurio y/o plomo también han ocasionado un gran número de pérdidas de animales domésticos. Se ha observado frecuentemente la intoxicación crónica con Pb en los caballos que han estado pastando cerca de las industrias fundidoras, de las minas de Pb y en las parcelas de tierra que han sido pulverizadas con insecticidas que contenían Pb.

Por investigaciones hechas en los EE.UU. de Norteamérica, se han observado que los accidentes debidos a los plaguicidas son responsables del 0.5 - 10% de todas las pérdidas de anima

les domésticos por enfermedad.

Cerca de fundidoras de cobre se puede producir envenenamiento de vacas, caballos y ovejas debido a la ingestión de trióxido de arsénico que puede contaminar los forrajes.

Los fluoruros del aire, procedentes de industrias de fertilizantes fosfatados, de producción de aluminio (mucho cuidado en Latacunga - Ecuador), de hidrocarburos fluorados y plásticos, pueden ocasionar probablemente más daño al ganado que ningún otro contaminante, por eso estos ocupan el primer lugar en la escala de agentes nocivos.

Independientemente de la clase de fluoruros, los efectos de la ingestión del forraje contaminado son los mismos: una calcificación anormal de los huesos y de la dentadura denominada fluorosis, que se debe a un gran aumento de fluoruros en dichas estructuras. La producción de leche también disminuye.

Los animales adelgazan, adquieren una postura rígida, cojean y el pelo se les pone áspero. Las vacas y las ovejas son más susceptibles a la fluorosis, los cerdos ocupan el segundo lugar, los caballos y las aves son los más resistentes al envenenamiento con fluoruros.

Para proteger a los animales contra los fluoruros se ha sugerido que el contenido promedio anual de fluoruros en el forraje sea restringido a 40 PPM y que no debe haber más de 80 PPM durante ningún mes ni más de 60 PPM durante más de 2 meses consecutivos.

Otros contaminantes del aire que comunmente se asocian con los animales domésticos son: El amoniaco con los cerdos y las aves de corral, el monóxido de carbono con todos los animales domésticos, el polvo con las aves y los conejos; el sulfuro de hidrógeno con las aves de corral y los cerdos. El anhídrido sulfuroso con las vacas, las ovejas y los cerdos y, los óxidos de nitrógeno con todos los animales.

Daños ocasionados a la vegetación por los Contaminantes del Aire.- Los efectos de la contaminación atmosférica sobre la vegetación puede entre otros, causar grandes pérdidas económicas en regiones agrícolas. Estos efectos varían significativamente con el tipo de planta (sensibilidad del cuerpo receptor), con el tipo de contaminante y con la concentración del contaminante.

Los contaminantes gaseosos que son fitotóxicos de importancia incluyen a los fluoruros, el ozono, el PAN (peroxiacetilnitrato) y etileno.

Otros de menor magnitud son: el cloro, los plaguicidas, el cloruro de hidrógeno, el amoniaco y el mercurio.

Las partículas también han producido fitotoxicidad, generalmente al cubrir físicamente las hojas de la planta inhibiendo así posiblemente su respiración por los estomas (más detalles - ver apéndice) y/o reduciendo la fotosíntesis por absorción de la luz.

Otros aerosoles cuyo efecto se ha observado que es pernicioso para la vegetación, son el hollín, el óxido de magnesio, los

polvos de las industrias fundidoras y el ácido sulfúrico.

Los contaminantes destruyen la clorofila, alteran el proceso fotosintético y, en consecuencia disminuyen la producción de alimentos. La magnitud del daño puede ser desde una reducción del crecimiento hasta el exterminio completo. Entre ambos extremos se puede percibir la destrucción del tejido foliar, la clorosis y alteraciones del crecimiento. La tabla 2.16 contiene una lista de las plantas que son más sensibles a la contaminación con los compuestos más comunes.

Cabe indicar que, una fundidora de cobre o de níquel puede hacer que en muchos Kms. a la redonda la tierra sea estéril a causa de los humos sulfurosos.

Efectos en los Materiales.- Los efectos directos de la Contaminación atmosférica sobre los materiales incluye la deteriorización. Factores tales como la humedad natural, luz solar, variaciones de temperatura, aumentan la razón de deteriorización.

Los cinco mecanismos principales por los cuales ocurre dichos daños son: 1) Abrasión; 2) Deposición y remoción; 3) Ataque químico primario; 4) Ataques químicos secundarios; 5) Corrosión Electroquímica.

La tabla 2.17 resume algunos de estos efectos de la Contaminación atmosférica sobre los materiales.

Como ejemplo voy a citar 2 monumentos, que tuve la oportunidad de observarlos en forma personal recientemente (Abril-Mayo de 1976), que han durado muchos siglos: "El Coliseo de Roma"

y la "Catedral de Notre Dame" de París se están erosionando a una velocidad alarmante en este siglo del aire contaminado.

2.3. LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

En el mundo industrializado y en vías de desarrollo como el nuestro, la industria de manufactura del cemento se ha constituido en una fuente de primer orden de emisión de contaminación Atmosférica.

Existen dos tipos de soluciones: A) Modificar el proceso mismo de elaboración, para lo cual requiere investigación en muchas disciplinas y que esta fuera del alcance de este estudio, evitando de esa manera emisiones peligrosas; B) Diseñar un sistema de tratamiento del aire de la fábrica.

El diseño precisa la valoración de todas las posibles medidas correctivas y de los métodos de tratamiento para asegurar una solución eficaz y económica del problema. Hay que hacer una investigación a fondo del sistema completo, que incluya la fuente de emisión y el escape a la atmósfera. La valoración de un problema de contaminación y el diseño de un sistema de control incluye 7 pasos básicos a saber: examen de la fábrica - reunir datos y pruebas - establecer criterios de diseño - valorar los costos - elegir el sistema de control - Ingeniería, Diseño y construcción.

El programa de control que consta de estos 7 puntos fundamentales, se suele ejecutar en 3 fases: valoración, estudio de la Ingeniería correspondiente e Ingeniería de construcción. El diagrama 2.6 ilustra el programa fundamental para organizar

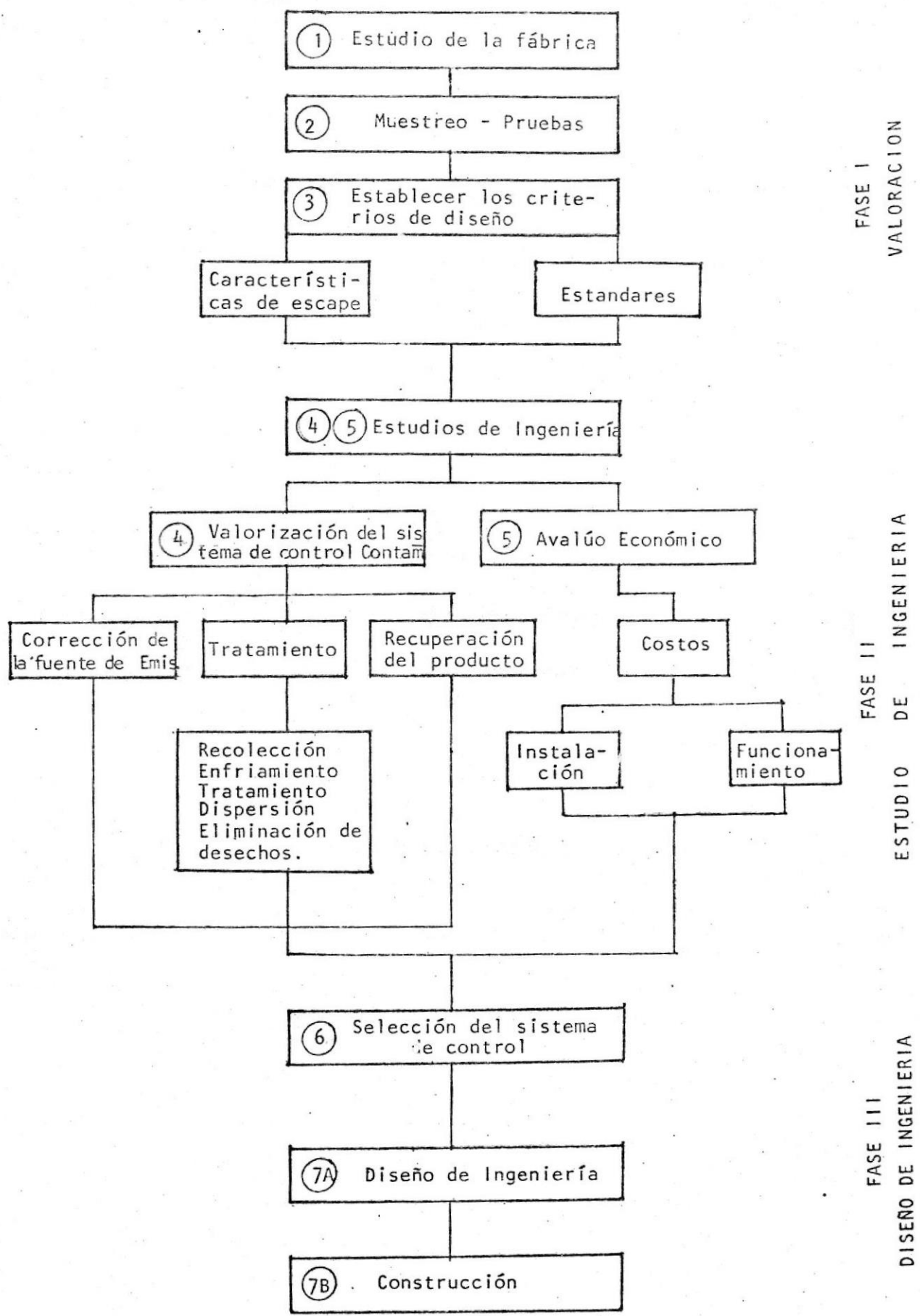


DIAGRAMA 2.6.- Programa para una instalación de control de la Contaminación del Aire

el sistema de control del Aire.

La fase inicial o de valoración se emprende para definir el problema de contaminación. Un examen de la fábrica proporciona información para el diseño "al describir el proceso de fabricación" e identificar las fuentes de contaminación.

2.3.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA.- Los diagramas 2.7* y 2.8 muestran el proceso de manufactura de cemento Portland.

En resumen: 1) cantería y trituración; 2) mezclado y molido: para A) proceso en seco y B) Proceso húmedo; 3) producción de escoria de cemento (clinker): La función más importante; 4) Molido final y almacenamiento.

Entre el proceso 2) - 3) tenemos los sistemas: horno-colector de polvo-chimenea..

En realidad, una de las más importantes causas de las "emisiones de polvo" es la forma en la cual los gases son liberados y expelidos de la alimentación en bruto durante la calcinación de la caliza.

La concentración de polvo saliendo del horno y entrando al sistema colector con proceso en seco es en el intervalo de 1.1 - 12.4 G/pie³ gas, y con proceso húmedo en el rango de 1 - 33% del cemento producido.

Cabe indicar, que la garantía de manufactura del cemento es con 99.5 % de eficiencia de colección de polvo.

Los datos reunidos durante el estudio de la fábrica permiti

* Ver Cap. 10

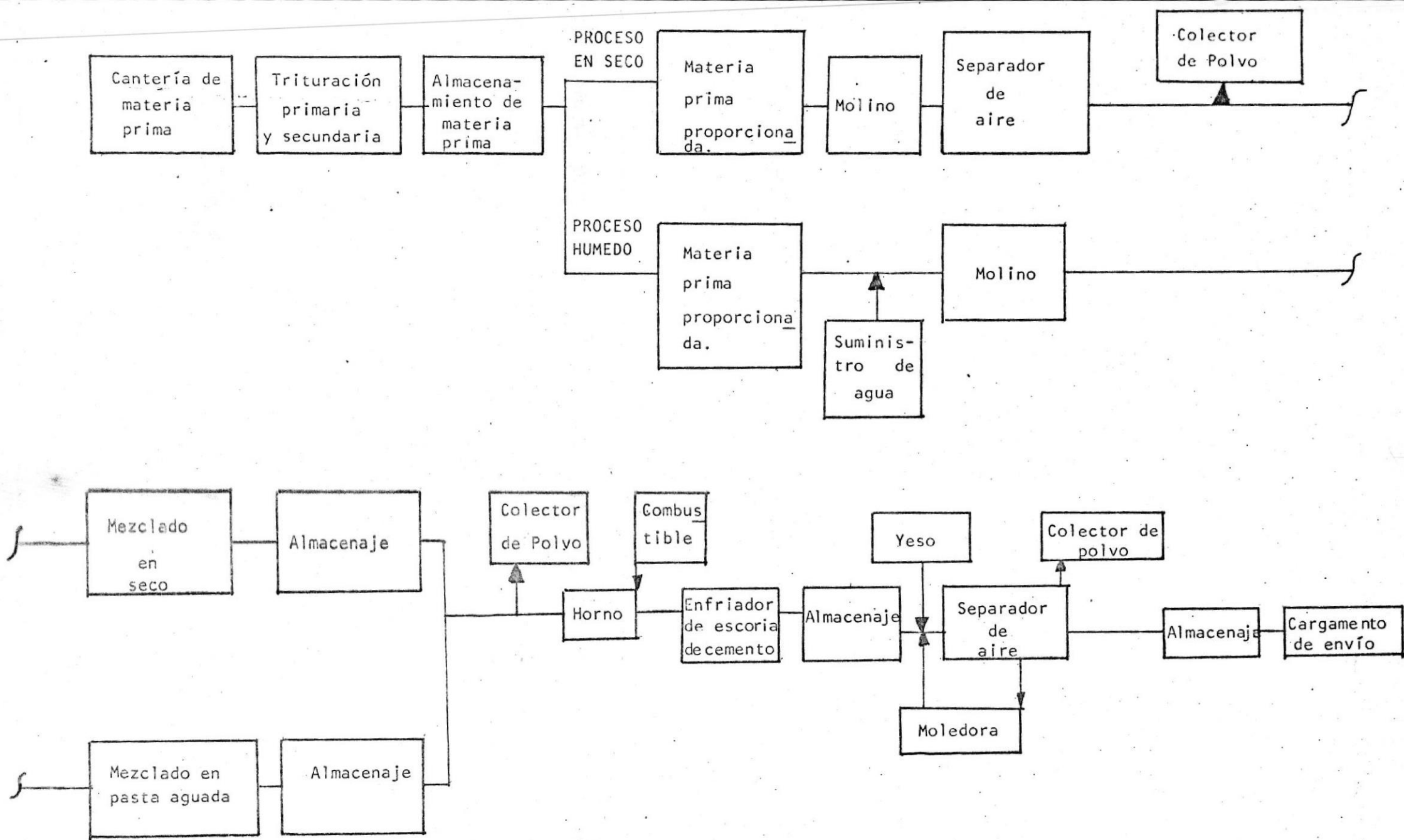


DIAGRAMA 2.8. Diagrama de Flujo básico del Proceso de Manufactura de "CEMENTO PORTLAND"

F. Fuentes de contaminación:

FUENTE	FUNCIONA MIENTO pres. temp.	EMISION m ³ /min. TANDA? CONTINUO?	DURA CION hrs.	CONTAMINANTES				CORRECCION DE LA FUENTE	RECUPERACION DEL PRODUCTO	TIPO DEL TRATA- MIENTO
				GASEOSOS		AEROSOLES				
				Tipo	Kg/hr	Tipo	Kg/hr			

1. ¿Es factible segregar las corrientes?
2. ¿Es factible substituir las materias primas?
3. ¿Valor de los Contaminantes recuperados?
4. ¿Posibles mejoras de los sistemas de escape existentes?

G. Equipo existente de control de la Contaminación

1. Tipo:
2. Abastecedor: Modelo N°
3. Capacidad:
4. Descripción del aparato:
5. ¿Contaminantes tratados?
6. ¿Capacidad sobrante?

H. Servicios disponibles en la fábrica

1. Superficie de la fábrica disponible para el sistema de control propuesto.
Localización:..... Dentro de la planta..... Fuera de la -
Planta:..... Dimensiones físicas:.....
2. Servicios
Aire: m³ estándar/min....Kg/cm²
Vapor de agua.... kg/hr.... Kg/cm²
Unidad de reutilización del condensado:
Gas:..... m³/min. de.....
Aceite..... lt/hr de.....
Agua del proceso:lt/min..... kg/m².....°C
Agua de enfriamiento:..... lt/min..... kg/m².....°C

3. Medios para disponer de los desechos

- A. ¿Medios para tratar los desechos de la fábrica?
- B. ¿Sistema Municipal de Drenaje?
- C. ¿Sistema Sanitario de desechos de la Planta?
- D. ¿Otros sistemas?

I. Plan de Muestreo y de Pruebas

Esquema.....

PUNTO DE MUESTREO	PRUEBAS NECESARIAS	FRECUENCIA	ES FACIL EL MUESTREO?	CONTAMINANTES ESTABLES	NECESIDAD DE TRANSPORTE

II. Datos Meteorológicos

- 1. Dirección prevalente del viento
- 2. Velocidad del viento
- 3. Temperatura atmosférica máxima y mínima
- 4. Frecuencia de inversiones, precipitaciones, niebla, etc.
- 5. Dirección de la sección local de la oficina meteorológica

III. Topografía

- A. Lugar despejado
- B. Terreno no despejado
 - 1. Edificio u obstrucción natural más próximos
 - 2. Describir el terreno que rodea a la fábrica

IV. Comunidad

- A. La región que rodea a la fábrica ¿Es residencial? ¿Rural? industrial?
- B. Descripción de la vegetación circundante o vida de la granja.
- C. Descripción de la zona que rodea a la fábrica.
- D. Plantas de Manufactura y/o proceso vecinal
- E. Describir las chimeneas y las emisiones de las chimeneas de las fábricas vecinas.

V. Reglamentos

A. Estado

1. Agencia de control del estado:
2. Relación con la agencia de control estatal:
3. Reglamentos aplicables:

B. Local

1. Agencia de control local:
2. Relación con el control local:
3. Códigos o estándares aplicables:

Como se observó en el diagrama correspondiente, el proceso de manufactura de cemento puede hacerse en seco y húmedo. En ambos casos los hornos rotatorios del proceso constituyen una fuente crítica de emisión del Polvo contaminante, por lo tanto "Equipo Colector de Polvo" es muy necesario en todos los hornos previo a la chimenea.

El método y grado de control varía con el tipo de planta y su localización. Los rangos de emisiones de polvo provenientes de los sistemas de control en acoplamiento con los hornos del cemento tipo húmedo y seco se muestran en tabla 2.19.

Es recomendable que el material particulado (polvo de cemento) sea recolectado por colectores de alta eficiencia porque el tamaño de las partículas del polvo emitido es pequeño (ver tabla 2.20), tanto que el 55% de las partículas de polvo emitidas del horno pueden ser más pequeñas que 10 micrones.

En la industria del cemento son usados un gran número de tipos de colectores de polvo, pero solamente los de alta eficiencia tales como el precipitador electrostático y filtro de bolsa usados a veces en serie con colectores de inercia colec

tan polvo fino eficientemente. El 60 a 87% de eficiencia de los colectores multiciclónicos resulta en un mínimo de carga en granos emitido, de 1.55 granos por P.C.S. Consecuentemente el multiciclón no es un equipo aceptable de reducción de emisión de polvo del horno a la atmósfera.

T A B L A 2.19

RANGO DE EMISIONES DE POLVO DE SISTEMAS DE CONTROL ACOPLADO A HORNO DEL CEMENTO TIPO SECO Y HUMEDO

FUENTE	TIPO DE COLECTOR DE POLVO	RANGO DE EMISIONES DE POLVO DEL COLECTOR	
		GRANO/P.C.S.*	LB/TON DE CEMENTO
HORNO-TIPO EN SECO	Multiciclones	1.55 - 3.06	26.2 - 68.6
SECO	Precipitadores Electroestáticos	0.04 - 0.15	1.7 - 5.7
	Multiciclón y precipitadores eléctricos.	0.03 - 1.3	0.6 - 29.4
	Multiciclón y filtro de tela	0.039	0.7
HORNO - TIPO HUMEDO	Precipitadores eléctricos.	0.03 - 0.73	0.52 - 9.9
	Multiciclón y precipitadores eléctricos	0.04 - 0.06	4.3 - 24.2
	Filtro de tela	0.015	0.35

*Granos/P.C.S.: granos por pie cúbico estandar de gas, corregido a condiciones normales: 60°F y 1 At. presión.

T A B L A 2.20

EJEMPLO DE LA DISTRIBUCION DE TAMAÑO DEL POLVO EMITIDO DE HORNO

TAMAÑO DE LA PARTICULA MICRON	% DEL POLVO EMITIDO DEL HORNO CON RESPECTO AL TAMAÑO DE LA PARTICULA
60	97 - 100
50	95 - 100
40	85 - 95
30	70 - 90
20	50 - 70
10	30 - 55
5	20 - 40
2.5	10 - 35

Precipitadores electrostáticos o filtros de fibra de vidrio, a veces precedidos por colectores mecánicos, son necesarios para reducir emisiones a un nivel satisfactorio.

Datos ilustrativos recomendables de cargas de grano del polvo de cemento y eficiencias de colección de polvo necesarios para determinar los límites permisibles de las partículas basados en procesos relacionados con peso son presentados en tabla 2.21.

La manufactura del cemento Portland ha cambiado enormemente en las varias décadas pasadas. La industria del cemento anterior producía 0.45 Ton. de escoria (clinker) por ton. de materia prima con relación a una razón de uso de combustible de 1.5 millones de BTU/barril de cemento. Hoy en día la misma capacidad de planta produce 0.6 a 0.65 ton de Escoria (clinker) por ton. de materia prima pero a una razón de uso de combustible de menos que 1 millón BTU/barril.

T A B L A 2.21

CARGAS DE GRANO DE POLVO ESTIMADAS Y EFICIENCIAS DE COLECCION NECESITADAS
PARA DETERMINAR LAS REGULACIONES DE LA EMISION

CAPACI DAD DEL HORNO *Bbl/día	TIPO DE COMBUS TIBLE	PROCESO EN PESO MATERIA PRIMA MAS COMB. SOLIDO. lb/hr.	RAZON DE EMISION DE POLVO PERMISIBLE Lb/hr	CARGA DE GRA NO DE POLVO A PROX. PARA RE GULAR LIMITAC. GRANOS p.c.s.	% EFICIENCIA DE COLECCION DE POL VO APROX. NECESI TADO PARA REGULAR LAS LIMITACIONES %
2000	Hulla	57600	38.6	0.08	98.3
2000	Petróleo o Gas	50000	34.3	0.08	98.5
4000	Carbón	115000	40.0	0.05	99.6
4000	Petróleo o Gas	100000	40.0	0.05	99.6
6000	Hulla	173000	40.0	0.03	99.7
6000	Petróleo o Gas	150000	40.0	0.03	99.7
8000	Carbón	230000	40.0	0.02	99.8
8000	Petróleo o Gas	200000	40.0	0.02	99.8

* 1 Bbl = 1 barril = 376 Lbs (171 Kg)

No obstante las emisiones de muchas plantas han sido parcial o totalmente controladas, sin embargo, unas pocas plantas más viejas todavía descargan tanto como 3% de su producto del horno a la atmósfera. Estas plantas más viejas están gradualmente siendo reemplazadas con nuevas plantas modernas que utilizan unidades más grandes, resultando: poquísimos puntos de emisión y que son equipados con sistemas de control de emisión de polvo, de alta eficiencia.

Las Industrias del cemento están en plan de continuar esta moderna tendencia hacia la producción más eficiente a través de un control del polvo, centralizado y efectivo.

2.3.2. METODOS CUANTITATIVOS.- Para análisis cuantitativos de diseño de reglamentos y equipos de control en torno a las plantas de

cemento existe una fórmula práctica, para calcular concentraciones del contaminante, muy importante tenerla presente; llamando.

X = concentración del Contaminante Atmosférico en cualquier punto X, Y, Z.

$$\therefore X(X, Y, Z) = f \left(Q, \frac{1}{\bar{\mu}}, \frac{1}{\sigma_Z}, \frac{1}{\sigma_Y}, \dots e^{Y, Z} \right)$$

$$X(X, Y, Z) = \frac{Q}{2 \pi \bar{\mu} \sigma_Z \sigma_Y} \left\{ \exp \left[-\frac{Y^2}{2 \sigma_Z^2} \right] \right\} \left\{ \exp \left[-\frac{(Z + Y)^2}{2 \sigma_Z^2} \right] \right\}$$

* Ver apéndice.

Donde: Q = Razón de Emisión

$\bar{\mu}$ = Velocidad del viento (factor meteorológico que afecta a la contaminación del aire, así como también la temperatura vs. altura aproximadamente en cambio adiabático: - 10°C/Km)

σ_Z, σ_Y = Factores de emisión dado en tablas

Un ejemplo de una tabla de factores de emisión para manufactura de cemento sin controles tenemos en la tabla 2.22.

2.3.3. APLICACION NACIONAL: ECUADOR.- En nuestro País: Ecuador existen apenas 3 plantas del cemento de primer orden con grandes unidades de producción: A) En la región litoral - "La Cemento Nacional San Eduardo"; B) En la Región Sierra: "La Cemento Chimborazo" y "La Cemento Selva Alegre" (instalada en este año).

En forma proporcional a la producción, y a su vez un índice del desarrollo infraestructural del país, existe el problema de la Contaminación atmosférica que generan sus fuentes de emisión de polvo contaminante, con daños a la salud y bienes-

tar de las poblaciones urbanas y rurales en torno a dichas industrias, daños a la vegetación, a los animales domésticos, efectos meteorológicos en la precipitación, etc.

T A B L A 2.22

FACTORES DE EMISION PARA MANUFACTURA DE CEMENTO SIN CONTROLES*

APRECIACION DEL FACTOR DE EMISION

Contaminante	Proceso en seco		Proceso Húmedo	
	Hornos	Secadores-Trituradores	Hornos	Secadores/Trit.
Particulado				
lb/Ton	245.0	96.0	228.0	32.0
Kg/TM	122.0	48.0	114.0	16.0
Dióxido de Azufre de la fuente mine <u>ra</u> ral.				
lb/Ton.	10.2	-	10.2	-
Kg/TM	5.1	-	5.1	-
Combustión de Gas				
lb/Ton.	D**	-	D	-
Kg/TM	D	-	D	-
Combustión de pe- tróleo				
lb/Ton	4.2 S ***	-	4.2 S	-
Kg/TM	2.1 S	-	2.1 S	-
Combustión de car <u>bo</u> n				
lb/Ton	6.8 S	-	6.8 S	-
Kg/TM	3.4 S	-	3.4 S	-
Oxidos de Nitrógeno				
Lb/Ton	2.6	-	2.6	-
Kg/TM	1.3	-	1.3	-

* Estos factores de emisión incluye emisiones de combustión de combustible, el cual no podrá ser calculado separadamente.

** D: Despreciable

*** S: es el % de azufre en el combustible

El polvo de los hornos del cemento se ha citado frecuentemente como agente nocivo para las plantas cuando se deposita en forma natural en la superficie húmeda de las hojas.

Daños que inciden en la Economía del País, por lo tanto, es muy importante que el Estado en cooperación con la Empresa privada inicie ya estudios, bajo el signo de responsabilidad, de control de Contaminación de aire provocados por este foco peligroso: "La industria del Cemento".

En particular, existe el problema aquí en Guayaquil: "La Cemento Nacional" - ubicada en el km 7 1/2 saliendo de esta ciudad vía a la costa. Actualmente por problemas técnicos de su sistema de control de polvo (específicamente el sistema eléctrico del precipitador electrostático) no funciona con la eficiencia de recolección de diseño y para la capacidad de la unidad respectiva, por lo tanto, está emitiendo polvo contaminante que por lo menos afecta el bienestar público, lo cual ha traído ciertas formas de demandas a nivel de prensa y colectividades urbanas.

Pienso que también podría tener efectos nocivos en la salud humana - animal y vegetal, pero que para establecer medidas cuantitativas que regulen límites de permisibilidad y de esa manera generar demandas basadas en datos técnicos precisos, se requiere estaciones para medir calidad del aire.

El Departamento de Saneamiento Ambiental del Municipio de Guayaquil es una autoridad bajo cuya responsabilidad está la solución de esta situación.

2.4. TENDENCIAS LEGISLATIVAS Y REGLAMENTARIAS RELATIVAS AL CONTROL Y A LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL ECUADOR.

El problema en cuestión preocupa a los organismos públicos nacionales e internacionales, quienes por diferentes épocas y en diferentes lugares proponen la adopción de medidas tendientes a controlar, restaurar y mejorar las condiciones ambientales.

La conferencia de Estocolmo en Junio de 1972, la reunión del Consejo de Administración del Programa de las NN.UU. para el Medio ambiente, llevada a cabo en Ginebra en Junio de 1973, la reunión de Ministros de Salud de Países del área andina en Julio de 1973 certifican estas afirmaciones.

El Gobierno Nacional, acogiendo las resoluciones vertidas en estos eventos Internacionales, hace suya la responsabilidad de establecer en el País los delineamientos de una política de prevención y control de la "CONTAMINACIÓN AMBIENTAL" con el afán de proteger nuestros recursos naturales, encargándose del cumplimiento de esta tarea el Sr. Ministro de Salud Pública, - quien convoca a la Primera Reunión sobre "Contaminación del Medio Ambiente", llevado a cabo el 14 de Marzo de 1974 en la que se conforma el "Comité Interinstitucional de la Contaminación Ambiental", encargado de: A) Preparar los delineamientos de una política general sobre el control; B) Conformar un sub-Comité con el propósito fundamental de elaborar una Ley y Reglamentos; C) Estructurar una Secretaría Permanente del Comité a cargo de la División Nacional de Saneamiento Ambiental - del Ministerio de Salud, División que posteriormente fuera transferida al IEOS (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias) me-

diante decreto ejecutivo N^o 480 del 16 de Mayo de 1.974.

La División de Saneamiento Ambiental dentro de su Plan de acción ha tomado a cargo las responsabilidades que fueran encomendadas al Comité Interinstitucional y, ha elaborado el programa de Control de la Contaminación que se presenta a continuación:

2.4.1. PROGRAMA DE CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL.- El propósito que guía la ejecución del programa elaborado es el de mantener condiciones de calidad adecuadas de los recursos: aire, agua y suelo en todo el territorio de la república, administrar estos recursos eficientemente mediante el desarrollo de actividades preventivas y de control que impidan su deterioro y la aplicación de técnicas de corrección a los problemas ya existentes.

OBJETIVOS.- Los objetivos a cumplirse dentro del plan propuesto con relación solamente a la "Contaminación del Aire", son:

- A) Preparar el Anteproyecto de la Ley de Protección, Prevención y Control y obtener su aprobación.
- B) Preparar y obtener la aprobación de Normas y Reglamentos - Tentativos.
- C) Iniciar programas de investigación y evaluación en las ciudades cuyas condiciones actuales de desarrollo indiquen la necesidad de establecer los niveles de Contaminación presente.
- D) Preparar proyectos a ejecutarse con la cooperación técnica y financiera de Organismos Internacionales.

- E) Inventariar y mantener al día los Emisores y Contaminantes Atmosféricos.
- F) Iniciar un sistema de permiso Sanitario previo para toda nueva actividad económica.
- H) Contratar y preparar el personal especializado necesario para dar cumplimiento al programa propuesto.

2.4.2. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PROGRAMA - ANTEPROYECTO DE LEY

Considerando que el documento necesario que permita la ejecución de cualquier programa de control es la Ley, se ha preparado un Proyecto, el mismo que debe ser estudiado por todas las instituciones que tienen competencia en la misma, de tal modo que, en conjunto con el organismo coordinador: el IEOS, se pueda tener una Ley que cumpla su finalidad.

Para la preparación del anteproyecto fue necesario recurrir a leyes existentes en otros países, los que han resuelto o están por resolver los problemas relativos a la Legislación. Entre las que sirvieron de referencia se puede mencionar la Ley Mexicana, Chilena, Argentina y Colombiana, algunas de las cuales todavía en proceso de aprobación.

A continuación se expone el "Anteproyecto de Decreto":* En copia formulado por el Ministerio de Salud Pública - Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias bajo el título: "ANTEPROYECTO DE LEY PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN".

Normas y Reglamentos tentativos.- Para el estudio y análisis se ha considerado las sugerencias dadas por el Ing. Haddad (asesor técnico, de la Organización Mundial y Panamericana para la salud respectivamente: OMS/OPS, para IEOS).

* Ver apéndice Cap. 10.

Las normas de calidad del aire en mención son las siguientes: tabla 2.23. Cuando se lo considere necesario para el resguardo de la salud o para evitar daños económicos o molestias a la población se añadirán a la norma indicada otros contaminantes a cuyo control sea requerido.

Dada la importancia de la Contaminación atmosférica generada por la producción de Cemento Portland en nuestro medio y dada la situación de nuestro País de recién iniciarse en el campo de la investigación en esta Area, considero por lo pronto atenerse a códigos Internacionales en lo que respecta a Normas de Calidad del aire con relación al Polvo Contaminante de Cemento.

Se podría tomar como referencia los estandares de emisión, para la fabricación de cemento Portland por el proceso húmedo o en seco y para los hornos al igual que para los sistemas de enfriamiento del cemento (clinker), promulgados por la EPA (Environmental Protection Agency - Agencia de Protección del Medio Ambiente) de los EE.UU. de Norteamericana.

Donde los estandares de emisión de partículas para los hornos son de un máximo de 0.15 kg/TM de alimentación durante 2 horas y un estándar de opacidad máximo de 10%. Los estandares de emisión de partículas para los enfriadores clinker son una opacidad de 10% o mayor y un promedio máximo de emisiones durante 2 horas mayor de 0.05 Kg/TM introducida en el horno.

2.4.3. PROGRAMAS DE INVESTIGACION Y EVALUACION.- Tomando en consideración que cualquier programa de prevención y control debe fundamentarse en planes de investigación que desarrollan tareas

de investigación con el objeto de aunar esfuerzos y, poder mediante esta cooperación llevar a cabo diversos proyectos.

En convenio con el Departamento de Proyectos Industriales de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central se inició ya a partir del 2 de Enero de 1976 el estudio de la Contaminación ambiental en el cantón Quito, con un objetivo de evaluación de su estado actual, sus orígenes y posibles soluciones. Plan de investigación que proporcionará la experiencia para que proyectos similares a realizarse próximamente en Guayaquil y Cuenca tenga el éxito deseado.

T A B L A 2.23

NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE EN PROYECTO PARA ECUADOR

CONTAMINANTE	CONCENTRACION LIMITE	
Oxidos de Azufre*	Promedio anual:	60 $\mu\text{G}/\text{m}^3$
	98% de las cifras obtenidas inferiores a:	200 $\mu\text{G}/\text{m}^3$
Partículas en Suspensión*	Promedio anual:	40 $\mu\text{G}/\text{m}^3$
	98% de las cifras obtenidas inferiores a:	120 $\mu\text{G}/\text{m}^3$
Monóxido de Carbono (Medido con radiación infrarrojo no dispersa).	Promedio de 8 horas:	10 $\mu\text{G}/\text{m}^3$
	Máximo de una hora:	40 $\mu\text{G}/\text{m}^3$
Oxidantes Fotoquímicos (medidos por el método KI neutro amortiguado, y expresados como Ozono).	Promedio de 8 horas	60 $\mu\text{G}/\text{m}^3$
	Máximo de 1 Hora;	120 $\mu\text{G}/\text{m}^3$

* Determinado por el método recomendado por la British Standards Institution (1963) y empleado en la Redpanaire (Red Panamericana de muestreo - Normalizado de la contaminación del aire), que mide en conjunto los óxidos de Azufre y las partículas en suspensión.

Dentro de los programas inmediatos que ejecuta el IEOS: se inició y desarrollará un programa de mediciones que permita establecer las condiciones imperantes en la atmósfera sobre el territorio de la República en especial en áreas que se consideren críticas o donde se pueda esperar concentraciones excesivas.

Los estudios en mención se podrán hacer gracias a la instalación de estaciones de medición que proporcionarán como datos los siguientes parámetros contaminantes: Anhidrido sulfuroso, partículas en suspensión y polvo sedimentable. De este modo, además el País entra a formar parte de la Red-Panaire. Se han hecho los trámites necesarios para la adquisición de 12 estaciones, las mismas que se instalarán en la siguiente forma:

Quito:	3 estaciones	Ambato:	1 estación
Guayaquil:	3 "	Galápagos:	1 "
Esmeraldas:	2 "	Lago Agrio:	1 "
Cuenca:	1 estación		

Existe un proyecto de cooperación con organismos internacionales bajo el programa de las NN.UU. para el Desarrollo. El IEOS con la asesoría de la OMS-OPS ha preparado un proyecto para el control de la Contaminación del Ambiente, el mismo que fué puesto a consideración y estudio de las NN.UU. para que con la cooperación técnica y financiera de este organismo pueda llevarse a ejecución. (Ref. 1) (Cap. 10).

2.4.4 LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.- En registro Oficial N° 97 publicado por la "Administración del Consejo Supremo de Gobierno del Ecuador (año 1 - Quito, Lunes 31 de Mayo de 1976) en Decreto N° 374, adjunto al Cap. 10.

T A B L A 2.1. DERIVADOS DEL PETROLEO

INDUSTRIA	CLASIFICACION Acuerdo Fecha Nº	CATEG.	DIRECCION: Ciudad	PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS	PRODUCCION DE DESECHO	OBSERVACIONES
Compañía Ecuatoria na de Lubricantes S.A. (CELSA)	1074 7-III-66	B	Guayaquil	Aceites-Lubri cantes para au tomotores in- dustriales.	Partículas Oxidos de Azufre Hidrocarburos Monoxido de Car- bono.	Debe instalarse sistemas de Con trol en el esca pe de los Proce sos.
Lubricantes y Tam- bores del Ecuador C.A. (LYTECA)	1121 8-III-66	B	Buayaquil	Aceites Lubricantes Grasas	"	"

T A B L A 2.2. FABRICACION DE CEMENTO

INDUSTRIA	CLASIFICACION		CATEGORIA	DIRECCION: CIUDAD	PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS	PRODUCCION DE DESECHO	OBSERVACIONES
	ACUERDO Nº	FECHA					
Cemento "Chimborazo" C.A.	312- IND-39	21-II-64	A	Riobamba	Cemento Port- land y Puzolá nico.	*	La instalación de equipos de control de alta eficiencia de recolección es muy importante.
Empresa Industrias Guapan S.A.	145	8-III-62	A	Azogues	Cemento	*Emisiones de polvos de ce mento prove- nientes de	"
La Cemento Nacional C.E.M.	136	14-III-61	A	Guayaquil	Cemento Portland	los hornos - rotatorios en proceso seco y húmedo.	"
La Cemento Selva Alegre.	-	76	A	Ibarra	Cemento		

T A B L A 2.3. FUNDICION

INDUSTRIA	CLASIFICACION		CATEGORIA	DIRECCION:	PRODUCTOS Y	PRODUCTOS DE	OBSERVACIONES
	ACUERDO N ^o	FECHA		CIUDAD	SUBPRODUCTOS	DESECHO	
Fundiciones Industriales	7474	21-VIII-69	A	Guayaquil	Lingotes-Carcu zas - Piezas - y fundiciones.	*	Se hace necesario dis- poner de equipos de control previos a los escapes de los altos hornos.
Metalúrgica Ecuatoriana	2942	7-VI-67	B	Quito	Fundiciones de Fe - Bronce y Aluminio.	*Emisión de partículas Oxidos de Azufre Mo- nóxido de Carbono.	"
Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. (CEDAL)	981	8-VIII-74	A	Latacunga	Fundición y La minación de AL.	"	"

T A B L A 2.4. KRAFT, PULPA Y PAPEL

INDUSTRIA	CLASIFICACION ACUERDO FECHA Nº	CATEGORIA	DIRECCION: CIUDAD	PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS	PRODUCTOS DE DESECHO	OBSERVACIONES
Fábrica de papel "La Reforma"	6307-C 3-XII-68	A	Babahoyo	Papel Kraft y bond - papel higiénico-car tulinas.	Emisiones de par tículas. Oxidos de Azufre y Mono xido de Carbono.	
Industria Ecuato riana de Envases C. Ltda.	319 21-VI-73	B	Guayaquil	Papel Kraft - Sulfito.	"	Es muy impor tante verifi car el control de este tipo de Industrias especialmente por los Oxidos de Azufre en los escapes al ambiente.
Papelera Nacional S.A.	109- IND-12 28-I-64	A	Guayaquil	Papel Kraft y Carton	"	
Copacol Cía. Ltda.	683 14-VII-72	B	Guayaquil	Papel Kraft en gomado.	"	
Jorge Durán	6463 15-I-69	B	Guayaquil	Sacos de papel Kraft - Yute - Cabuya.	"	

T A B L A 2.5. INDUSTRIAS BASICAS DE HIERRO Y ACERO

INDUSTRIA	CLASIFICACION		CATEGORIA	DIRECCION: CIUDAD	PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS	PRODUCTOS DE DESECHO	OBSERVACIONES
	Acuerdo Nº	Fecha					
Acerías del Ecuador C.A. (ADELCA)	1546- IND-179	5-VI-64	A	Aloag	Hierro Estructural	* * Emisiones de partículas y Monóxido de Carbono.	Debe instalarse sistemas de tra- tamiento de ai- re para control de Polución At- mosférica.
Acerías Nacional del Ecuador S.A. (ANDEC)	712	25-VIII-72	A	Guayaquil	Hierro Estructural		
Industria Proce- sadora de Acero IPAC S.A.	946	27-X-72	B	Guayaquil	Perfiles de Hierro.	"	"
Siderúrgica Ecua- toriana S.A.	5424	2-VII-68	B	Guayaquil	Fundiciones de chatarra de Fe, Bronce y alumi- nio, estructuras metálicas, acce- sorios para maqui- naria Industrial.	"	"

T A B L A 2.6. MOLINOS DE GRANO Y PRODUCTOS DERIVADOS

INDUSTRIA	CLASIFICACION		CATEGORIA	DIRECCION:	PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS	PRODUCTOS DE DESECHO	OBSERVACIONES
	ACUERDO Nº	FECHA		CIUDAD			
Compañía Agroindus- trial Molinera. Ensi- ladora Loja S.A. (CAMEL)	.2347- IND-57	27-VIII-64	B	Loja	Harina - Afrecho - Semola	*	
Industria Molinera C.A.	90	17-II-65	B	Guayaquil	Harina y Subpro- ductos-Arroz y Subproductos.	* Emisiones de	Control sistemá- tico de las emi- siones contaminan- tes es imprescin- dible.
Molino Electromoderno S.A.	1100	7-III-66	B	Colta	Harina de Cereales y subproductos.	Partículas	
Molinos Corona S.A.	1741	4-X-66	B	Quito	Harina de trigo y subproductos.	"	
Primeros Molinos de Semola S.A. (PRIMOSA)	248-A	25-VII-60	B	Cuenca	Semola-Semolina		
Productora Bananera S.A. (PROBASA)	341	28-III-63	A	Guayaquil	Harina de Banano	"	
Trobana	344	28-III-63	A	Guayaquil	Harina de Banano		
Molinos de avena co- razón de Oro.	5084	17-IV-68	B	Guayaquil	Avena, Polvillo de avena.	"	
La Industria Harinera S.A.	324	25-III-74	B	Quito	Harina de trigo, afrechillo		
Industria Harinera Guayaquil S.A.	612	3-X-61	B	Guayaquil	Harina de trigo, afrecho - varios		

T A B L A 2.7. A B O N O S

INDUSTRIA	CLASIFICACION		CATEGORIA	DIRECCION: CIUDAD	PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS	PRODUCTOS DE DESECHO	OBSERVACIONES
	ACUERDO Nº	FECHA					
Desarrollo - Inves- tigaciones e indus- trialización de Re- cursos Naturales C. A. (DIRCA)	611	4-V-71	B	Daule	Abonos orgáni- cos y químicos.	Emisiones	En esta clase de Industrias es de másiado importan- te instalar sis- temas óptimos de tratamiento del aire dentro: del complejo Indus- trial-Laboratorio y salidas al medio ambiente. Cabe in- dicar que en FERTI- SA ya han ocurrido accidentes mortales en profesionales la- borando en dichos laboratorios.
Fertilizantes Ecu- torianos S.A. (FER- TISA)	2624 IND-281	22-IX-64	B	Guayaquil	Fertilizantes completos Acido Sulfúrico.	de Partículas	

T A B L A 2.10. EMISIONES MUNDIALES ANUALES DE OXIDOS DE AZUFRE

FUENTE DE AZUFRE	CONSUMO O PRODUCCION/AÑO	FACTOR DE SO ₂	EMISION DE SO ₂ 10 ⁶ Ton/año	SUBTOTAL 10 ⁶ Ton	% DEL TOTAL
Carbon	3074 x 10 ⁶ Ton	3.3 x 10 ⁻² Ton/Ton		102	70
Combustión de petróleo					
Gasolina	379 x 10 ⁶ "	9 x 10 ⁻⁴ "	0.3		
Kerosene	100 x 10 ⁶ "	24 x 10 ⁻⁴ "	0.2		
Destilado	287 x 10 ⁶ "	70 x 10 ⁻⁴ "	2.0		
Residual	507 x 10 ⁶ "	400 x 10 ⁻⁴ "	20.3	22.8	15
Refinación de Petróleo	11.317 x 10 ⁶ "	50 x 10 ⁻⁵ Ton/Barril		5.7	4
Fundiciones: Cobre	6.45 x 10 ⁶ "	2.0 Ton/Ton	12.9		
Plomo	3.0 x 10 ⁶ "	0.5 "	1.5		
Zinc	4.4 x 10 ⁶ "	0.3 "	1.3	15.7	11
TOTAL			146.2		100

T A B L A 2.11. EMISIONES ANUALES MUNDIALES DE CO PARA 1965

COMBUSTIBLE	USO	FACTOR CO	EMISION DE CO
Gasolina	379 x 10 ⁶ Ton	0.291 lb/Gal	193 x 10 ⁶
Carbón			
Potencia	1219 x 10 ⁶ "	0.5 Lb/Ton	
Industria	781 x 10 ⁶ "	0.3 "	
Residencial	404 x 10 ⁶ "	50.0 "	
Plantas de Coke	615 x 10 ⁶ "	0.11 "	
T O T A L	3074 x 10 ⁶ "		12 x 10 ⁶
Madera Combustible	1260 x 10 ⁶ "	70 "	44 x 10 ⁶
Incineración	500 x 10 ⁶ "	100 "	29 x 10 ⁶
Fuego en bosques	18 x 10 ⁶ Acres		11 x 10 ⁶
T O T A L			285 x 10 ⁶ Ton

T A B L A 2.12. EMISIONES MUNDIALES ANUALES DE OXIDOS DE NITROGENO

COMBUSTIBLE	USO	CONSUMO O PRODUCCION/AÑO	FACTOR NO ₂	EMISION DE NO ₂ x 10 ⁶ Ton.	SUBTOTAL	% DEL TOTAL
Carbon	Potencia	1219 x 10 ⁶ Ton	20 Lb/Ton	12.2		
	Industrial	1369 x 10 ⁶ "	20 "	13.7		
	DOM/COM	404 x 10 ⁶ "	5 "	1.0	26.9	51
Petróleo	Refinerías	11317 x 10 ⁶ "	6.0 x 10 ⁻⁵ Ton/Barr.	0.7		
	Gasolina	379 x 10 ⁶ "	0.113 Lb/Gal	7.5		
	Kerosene	100 x 10 ⁶ "	0.072 "	1.3		
	Aceite combus tible.	287 x 10 ⁶ "	0.072 "	3.6		
	Aceite Residual	507 x 10 ⁶ "	0.104 "	9.2	22.3	42
Gas Natural	Potencia	298 x 10 ¹⁰ pie ³	390 x 10 ⁻⁶ Lb/pie ³	0.6		
	Industrial	1072 x 10 ¹⁰ "	214 x 10 ⁻⁶ "	1.1		
	DOM/COM	686 x 10 ¹⁰ "	116 x 10 ⁻⁶ "	0.4	2.1	4
Otros	Incineración	500 x 10 ⁶ Ton	2.0 Lb/Ton.	0.5		
	Madera	466 x 10 ⁶ "	1.5 "	0.3		
	Fuego en bosques	324 x 10 ⁶ "	5.0 "	0.8	1.6	3
TOTAL :					52.9	100

T A B L A 2.13. EMISIONES GLOBALES ANUALES DE HIDROCARBUROS

FUENTE	CANTIDAD x 10 ⁶	FACTOR DE EMISION	EMISION TOTAL (Ton x 10 ⁶)	% TOTAL
Carbon				
Potencia	1219 Ton	0.2 Lb/Ton	0.1	
Industrial	1369 "	1.0 "	0.7	
DOM/COM	404 "	10 "	2.0	24
Petróleo				
Refinerías	11.317 Barril	56 x 10 ⁻⁴ Ton/Barr.	63.4	
Gasolina	379 Ton	180 Lb/Ton	34	
Kerosene	100 "	0.6 "	0.1	
Aceite Combustible	287 "	1.0 "	0.1	
Aceite Residual	507 "	0.9 "	0.2	
Pérdidas de evaporación y transferencia.	379 "	41 "	7.8	72.2
Otros				
Usos de solventes	3 "	30 Lb/año/persona	10	
Incineradores	500 "	100 Lb/Ton	25	
Madera combustible	466 "	3 "	0.7	
Fuego en Bosques	342 "	7 "	1.2	25.4
TOTAL			145.3	100.0

T A B L A 2.14

CONTAMINANTE	NIVELES DE CONCENTRACION QUE TIENEN EFECTO PERJUDICIAL EN LA SALUD	EFECTOS NOCIVOS EN LA SALUD
Partículas y Oxidos de Azufre.	1) Partículas de $80 - 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (media geométrica anual) con niveles de sulfatación de $0.3 \text{ mg}/\text{cm}^2\text{-mo.}$	1) Aumento de la tasa de mortalidad para personas mayores de 50 años.
	2) $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.046 ppm) de SO_2 (Media anual) acompañado de concentraciones en partículas de $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$.	2) Aumento de la frecuencia y gravedad de las enfermedades respiratorias - en niños en edad escolar.
	3) $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.068 ppm) de SO_2 (media anual) concentraciones de partículas aproximadamente de $177 \mu\text{g}/\text{m}^3$.	3) Aumento de la frecuencia y la gravedad de las enfermedades respiratorias en niños en edad escolar.
	4) $105 - 265 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.037 a 0.092 ppm) de SO_2 (media anual) acompañado de concentraciones de $185 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas.	4) Aumento de la frecuencia de síntomas respiratorios y de enfermedades pulmonares.
	5) $140 - 260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05-0.09 ppm) de SO_2 (media anual) (promedio de 24 horas).	5) Aumento de la tasa de enfermedades de las personas de edad avanzada, con bronquitis crónica grave.
	6) $300 - 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.11 - 0.19 ppm) de SO_2 (media de 24 horas) con concentraciones bajas de partículas.	6) Aumento del número de ingresados en hospitales debido a enfermedades respiratorias. Mayor ausentismo del trabajo de personas de edad.
	7) $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas durante 24 horas, con concentraciones de SO_2 de $630 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.22 ppm)	7) A los enfermos de bronquitis crónica se les agravan los síntomas.

T A B L A 2.14 (Continuación)

CONTAMINANTE	NIVELES DE CONCENTRACION QUE TIENEN EFECTOS NOCIVOS EN LA SALUD	SINTOMAS PERJUDICIALES QUE OCASIONAN
Monóxido de Carbono (CO)	1) 58 mg/m ³ (50 ppm) durante 90 minutos (efectos similares) por exposición a 10 - 17 mg/m ³ (10 - 15 ppm) durante 8 o más horas. 2) Efectos con una exposición equivalente a 35 mg/m ³ (30 ppm) durante 8 horas o más. 3) Efectos en exposición equivalente a 35 mg/m ³ (30 ppm) durante 8 horas o más.	1) Discernimiento defectuoso para los intervalos de tiempo. 2) Resultados deficientes de las pruebas sicomotoras. 3) Aumento en el umbral visual.
Oxidantes Fotoquímicos	1) Mas de 130 µg/m ³ (0.07 ppm) 2) Valor máximo diario de 490 µg/m ³ (0.25 ppm) (Este valor iría asociado a una concentración promedio y por hora de 300 µg/m ³ (0.15 ppm) 3) 200 µg/m ³ (0.1 ppm) de concentración máxima diaria.	1) Actuación defectuosa de los estudiantes atletas. 2) Empeoran los ataques de Asma. 3) Irritación de los ojos.

T A B L A 2.16. PLANTAS RELATIVAMENTE SENSIBLES A LOS EFECTOS NOCIVOS DE DIVERSOS CONTAMINANTES
DEL AIRE.

ANHIDRIDO SULFUROSO (SO₂)

COSECHAS	FLORES DE JARDIN	ARBOLES	HORTALIZAS	PLANTAS SILVESTRES Y MALEZAS
Alfalfa	Aster	Manzano	Frijol	Polígono
Cebada	Aciano	Abedul	Brócoli	Trigo Sarraceno
Frijol	Cosmos	Olmo Americano	Coles de Bruselas	Erigorón
Trebol	Chícharo de olor	Alerce	Zanahoria	Acanto
Algodón	Verbena	Morera	Escarola	Malva
Avena	Violeta	Peral	Lechuga	Llanten
Centeno	Cinia	Pino blanco	Quimbombó	Pan de Pájaros
Cártamo	Maravilla	Pino Ponderosa	Pimiento Morrón	Girasol
Soja		Alamo, Lombardía	Chile	Holco lanoso
Trigo		Catalpa	Calabaza	Lengua de vaca
			Rábano	
			Ruibarbo	
			Espinaca	
			Batata	
			Zapallo	
			Nabo	
			Remolacha	

T A B L A 2.16 (continuación)

COSECHAS	OZONO-ARBOLES-ARBUSTOS-PLANTAS ORNAMENTALES	FLUORUROS	NITRATO DE PEROXIACETILO	ETILENO
Alfalfa	Aliso	Chabacano	Frijol Pinto	Frijol negro
Cebada	Manzano	Arándano	Zapallo	Clavel
Frijol	Tiemblo	Saúco	Pamplina	Algodón
Trebol Rojo	Saúco	Maíz dulce	Dalia	Garbanzo
Maíz Dulce	Spiraea	Pino Douglas	Pasto azul	Pepino
Agrostis	Clavel	Gladiolo	Lechuga	Caléndula Africana
Bromus Tectorum	Catalpa	Vid Europea	Mostaza	Orquídeas
Garrachuelo	Crisantemo	Vid Oregón	Almezo	Chícharo
Pasto oவில்	Vid	Alerce	Avena	Durazno
Melón	Algarrobo	Durazno (fruto)	Petunia	Filondendron
Avena	Lila	Pino Mugho	Tomate	Ligustro
Cacahuate	Arce plateado	Pino ponderosa		Rosal
Patata	Roble	Ciruelo Bradshan		Camote
Rábano	Peturia	Ciruelo Italiano		Tomate
Centeno	Pino blanco	Pinabete Azul		
Espinaca	Pino ponderosa	Tulipán		
Tabaco	Ligustro			
Tomate	Estoraque			
Trigo	Sicomoro			
	Sauce llorón			

TABLA 2.17. DAÑOS DIRECTOS DE LA CONTAMINACION DE AIRE SOBRE MATERIALES

MECANISMO	PRINCIPALES MATERIALES AFECTADOS	DAÑO RESULTANTE	CONTAMINANTES DE AIRE	FACTORES NATURALES CONTRIBUYENTES
Abración	Piedra-Mampostería - Metales - Superficies pintadas - Cerámica.	Rasguños - Desgaste - Estética.	Cenizas - Polvo - Oxidos de metales	Viento - Sol - Desgaste mecánico.
Deposición	Todos	Disminución del valor estético.	Todo particulado	Viento
Ataque químico	Superficies pintadas- <u>Textiles</u> - metales - papel-goma.	Desprendimiento de la pinturas- <u>Envejecimiento</u> estético-cuarteamiento.	SO ₂ , H ₂ S, O ₃ Acidos	Sol - Humedad - Temperatura.
Ataque químico secundario	Cuero-Materiales de <u>construcción</u> .	Debilitamiento-Cuarteamiento - Estética.	SO ₂ - Orgánicos	Desgaste Físico y Mecánico. Viento - Sol - Temperatura.
Corrosión Electro - química.	Metales	Oxidación - debilitamiento-estética.	Acidos - Sales	Humedad - Sol - Temperatura.

CAPITULO 3

SELECCION DEL EQUIPO PARA ELIMINAR PARTICULAS

3.1. PRINCIPIOS GENERALES

La materia en partículas (polvo) varía mucho en cuanto a tamaño, peso por partícula, forma, composición química, peso específico, densidad aparente, adherencia, resistividad, humectabilidad y cohesividad.

La selección del equipo para eliminar partículas se complica más debido a la cantidad y calidad del gas que las arrastra; por las variables de los procesos tales como la operación continua o intermitente, cambio de la cantidad del gas, de la carga de polvo o del contenido de humedad, y por otras variables importantes como los cambios estacionales, la producción de hollín y las alteraciones de los procesos industriales.

Debido a este número ilimitado de variables, el primer paso para la selección del equipo para eliminar partículas consiste en la identificación del problema de la limpieza del gas en términos que pueden estar relacionados directamente con las características de funcionamiento de los 4 tipos fundamentales de equipo comercialmente disponible para la eliminación de partículas: colectores mecánicos.-Filtros de tejido - lavadores - de gases por vía húmeda - precipitadores eléctricos. El cuestionario del diagrama 3-1 resume los datos que necesita el fabricante del equipo para hacer recomendaciones que sean factibles y económicas en un marco de licitaciones de concurso de ofertas.

DIAGRAMA 3-1 CUESTIONARIO

1. ¿Fábrica nueva o en servicio?
2. Tipo de fábrica y de procesos
3. Origen del gas y polvo. Número de unidades procesadas.
4. Razones para limpiar el gas: Control de contaminación del Aire.
 Recuperación de productos valiosos. Uso para procesos subsiguientes. Protección de Equipo o proceso.
5. Describir los Sistemas de control, enfriadores de gas o acondicionadores.
6. Situación geográfica y altitud de la planta interior o exterior.
 Esquema del espacio disponible. Si es factor limitante.
7. Electricidad Volts Hz.
8. Gas Min. Máx. Diseño
 Kg/hr
 °C Composición química:
 L/seg.
 cm H₂O
 % de humedad
9. Polvo
 GR/m³ aire entrada
 Tamaño partícula, % en peso:
 0.5 micras
 5-10 "
 10-20 "
 + 20 "
 Peso específico real
 Densidad aparente: Kg/m³
10. Eficiencia exigida. Max. permisible de pérdida de polvo; Kg/hr..... g/m³ aire.... Código de contaminación del aire aplicable.....
11. Especificaciones del diseño:
 Temperatura - Presión - Efecto del viento - Capacidad mínima tolva (Hrs).

12. Características especiales del polvo: Venenoso
 explosivo Difícil de eliminar Combustible
 Se acumula en la superficie metálica.
13. Datos diversos sobre el proceso. Ciclo de funcionamiento.
 Intervalos entre reparaciones. ¿Puede un solo colector servir para eliminar múltiples fuentes de contaminación?
14. ¿Existe información de haber tenido un equipo de control de contaminación semejante?
15. Varios: Ciclo de funcionamiento.
 Intervalo entre las principales reparaciones. ¿Puede un solo colector servir para las múltiples fuentes de emisiones? Colector.
16. Como prefiere que se recoja el polvo? ___ Seco ___ Húmedo
 En el segundo caso completar las preguntas 17-20.
17. Agua de lavado. Origen: Lago Municipal Río
 Mar Pozo
 Abastecimiento: ilimitado limitaciones estacionales, máximo (litros/min).
 Costo por millón de litros.
 Presión. Problemas químicos. Dureza corrosiva
 Pureza: Partes por millón de sedimentos. Naturaleza del sedimento. Sedimento estacional.
18. ¿Hay algún proceso de lavado por vía húmeda instalado?
 Cualidades - Cantidades - Presiones - Limitaciones
19. Forma de deshacerse del agua de lavado
 al drenaje; a un estanque de sedimentación; se vuelve a reutilizar después de clarificada; se proyecta reutilizar; el polvo colectado es valioso.
20. Materiales de construcción adecuados;
 acero blando; acero inoxidable; forrado de hule
 Policloruro de vinilo; FRP; otros.

COMPañIA

TITULO

FECHA

DIRECCION

LOCALIZACION DEL PROYECTO

NOMBRE DEL SOLICITANTE

Las garantías de la selección del equipo y de su funcionamiento se basan en datos completos de las operaciones industriales. El cuestionario está diseñado para hacer posible una valoración de los 4 enfoques comparándolos entre sí. Debe usarse siempre que no se pueda decidir previamente el tipo de colector y después enviarlas a cuando menos un fabricante de cada tipo básico de colector.

El ingeniero responsable incluirá, desde luego, un margen suficiente para abarcar todas las contingencias prácticas de funcionamiento y asegurarse de que también se cumplen los criterios del proceso y las leyes presentes con proyecciones futuras de contaminación del Aire.

Una vez definido el problema de limpieza del gas en términos de datos dignos de confianza y pertinentes, se puede calcular la eficiencia de recolección de partículas necesarias para adaptarse a las leyes de contaminación del Aire y a las necesidades del funcionamiento. Este segundo paso hará posible que se complete la definición del tipo de equipo para el control de partículas requerido incluyendo su eficiencia general de recolección. Los siguientes principios fundamentales se aplican a todos los colectores - separadores prácticos de materia en forma de partículas.

- 1) Todos los colectores - separadores limpian el gas eliminando continuamente el polvo de una corriente de gas en movimiento. El orden típico del proceso es: A) Fuente de Gas sucio; B) Aparato para limpiar el gas; C) Ventilador para mover la corriente de gas durante todo el proceso; D) Chimenea

para descargar el gas limpio en la atmósfera.

- 2) El tamaño del colector y su costo son directamente proporcionales a la cantidad de gases que se tienen que limpiar. Esta cantidad se expresa en forma volumétrica, en general como litros por minuto reales de gas sucio, que entran al colector.
- 3) La eficiencia de recolección se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de eficiencia de recolección} = \frac{\text{Peso del polvo entrante} - \text{Peso polvo que sale}}{\text{Peso del polvo entrante}} \times 100$$

- 4) Para todos los tipos de colectores-separadores de partículas el polvo fino es más difícil de separar que el grueso.

3.2. TIPOS BASICOS Y CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE LOS COLECTORES Y SEPARADORES DE PARTICULAS

Una vez definido el problema con criterios técnicos significativos, inclusive la eficiencia de recolección requerida, ya resulta posible opinar acerca de los 4 tipos fundamentales de sistemas de control de partículas y valorar sus características de funcionamiento dentro del marco de referencia de cada aplicación particular. Los tipos y subtipos principales de colectores separadores de partículas están resumidos en la tabla 3-1.*

- 3.2.1. COLECTORES - SEPARADORES MECANICOS.- El peso de los polvos industriales típicos es de 1-2000 veces el peso unitario de los gases que los arrastra. Los colectores - separadores mecánicos aprovechan esta diferencia de peso específico para separar el polvo más pesado del gas que es el más ligero.

*Tablas: 3.1-3.2-3.3.-3.4 al final del Cap.

Entre los tipos básicos de colectores - separadores mecánicos están: la cámara de sedimentación por gravedad, el colector con placa de desviación y los ciclones de gran eficiencia.

Cámara de Sedimentación por Gravedad.- En el Diagrama 3-2 se presenta una típica cámara de sedimentación por gravedad.

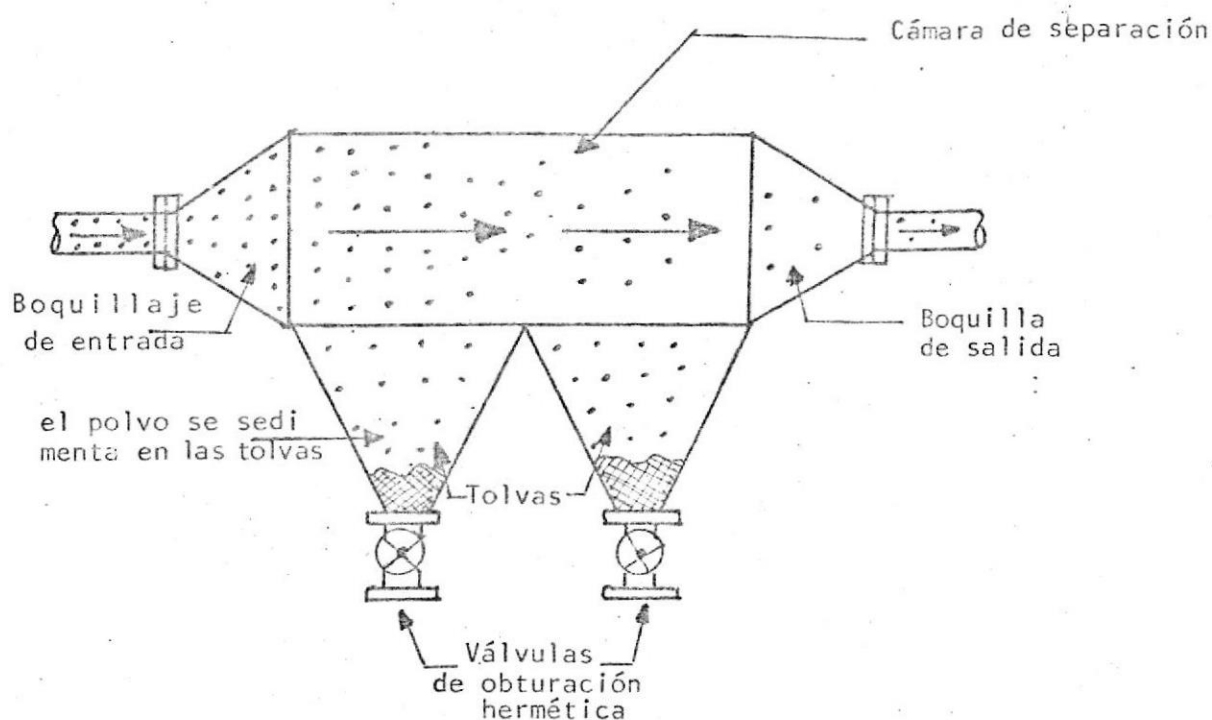


DIAGRAMA 3.2. Cámara de Sedimentación por Gravedad

Este colector disminuye la velocidad de la corriente capaz de transportar el polvo a uno de asentamiento del mismo, durante un período suficiente de tiempo para que el polvo más pesado pueda depositarse por efecto de la gravedad en las tolvas de donde se extrae periódicamente. Las velocidades de Sedimentación son de 18.2 - 182 metros por minuto.

Características fundamentales:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| A) Tamaño físico: Muy grande | B) Costos de instalación: Bajo |
| C) Gasto de energía: Muy bajo | CH) Costos de mantenimiento: Bajo |

D) Eficiencia de recolección: Muy baja

E) Confiabilidad: Excelente

F) Eficiencia con cargas pequeñas: Aumenta

G) Eficiencia con carga excesiva: Disminuye

Su única desventaja es la eficiencia muy baja, por lo tanto su uso se reduce al de "un predepurador".

Colector de recirculación con desviador del Flujo.- El Diagrama 3-3 muestra un colector - separador en el que se introduce el gas que se va a limpiar a alta velocidad por debajo de un desviador horizontal hecho de varillas separadas entre sí por espacios de unos 12 mm.

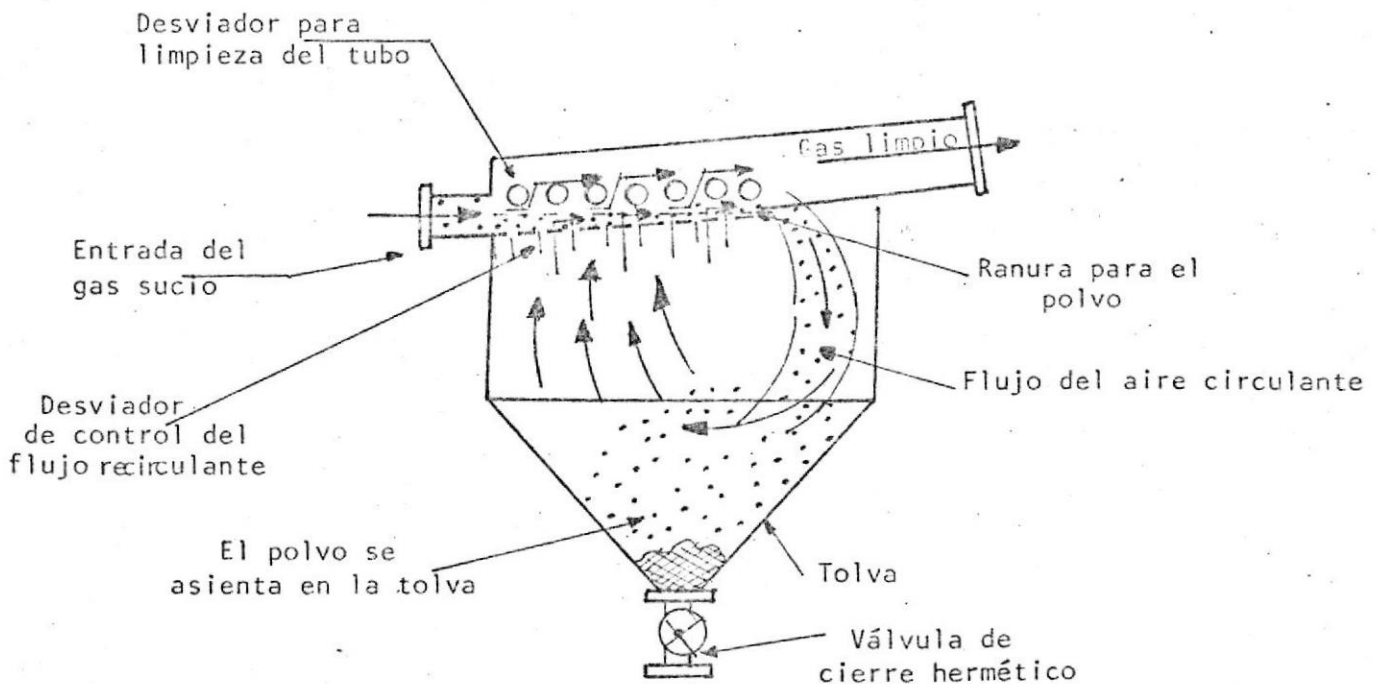


DIAGRAMA 3.3.- Colector de Recirculación con desviación del Flujo

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

El peso específico bajo del gas le permite dar esta vuelta

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

El flujo circulante se controla a una velocidad nominal con la ranura del polvo que se puede abrir más o menos y por el desviador de la corriente circulante.

Características básicas:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| A) Tamaño físico: Pequeño | B) Costo (instalación): Bajo |
| C) Gastos de Energía: Bajo | CH) Costos de Mantenimiento: Bajo |
| D) Eficiencia de recolección: Baja | E) Confiabilidad: Excelente |
| F) Eficiencia con cargas bajas: Desciende lentamente | |
| G) Eficiencia con Exceso de carga: Aumenta ligeramente | |

Por su eficiencia baja, también la aplicación es a nivel de "Prelimpiador".

Ciclones de gran eficiencia.- Los colectores - separadores de centrifuga, comunmente llamados de "ciclón" o "ciclones" separan la materia particulada del gas que la transporta transformando la velocidad de la corriente que entra en un remolino exterior descendente y otro remolino interior ascendente, ambos en el interior del cilindro superior y del cono inferior del ciclón. El remolino descendente que gira a gran velocidad envía por fuerza centrifuga el polvo por ser más pesado, contra las paredes del ciclón y lo lanza al interior de la tolva de la cual se extrae periódicamente. El remolino ascendente de gas limpio - que procede en toda su longitud de la parte interna del remolino descendente abandona el ciclón por el tubo telescópado que se encuentra en la

parte superior del cilindro.

El patrón de flujo en el interior del ciclón puede ser sencillo o completo de acuerdo con muchas variables: el tipo de entrada, las proporciones dimensionales y la inclusión o exclusión de un eductor para partículas muy finas o la interposición de placas desviadoras. El diagrama 3-4 muestra el patrón de corriente de un tipo común de gran eficiencia.

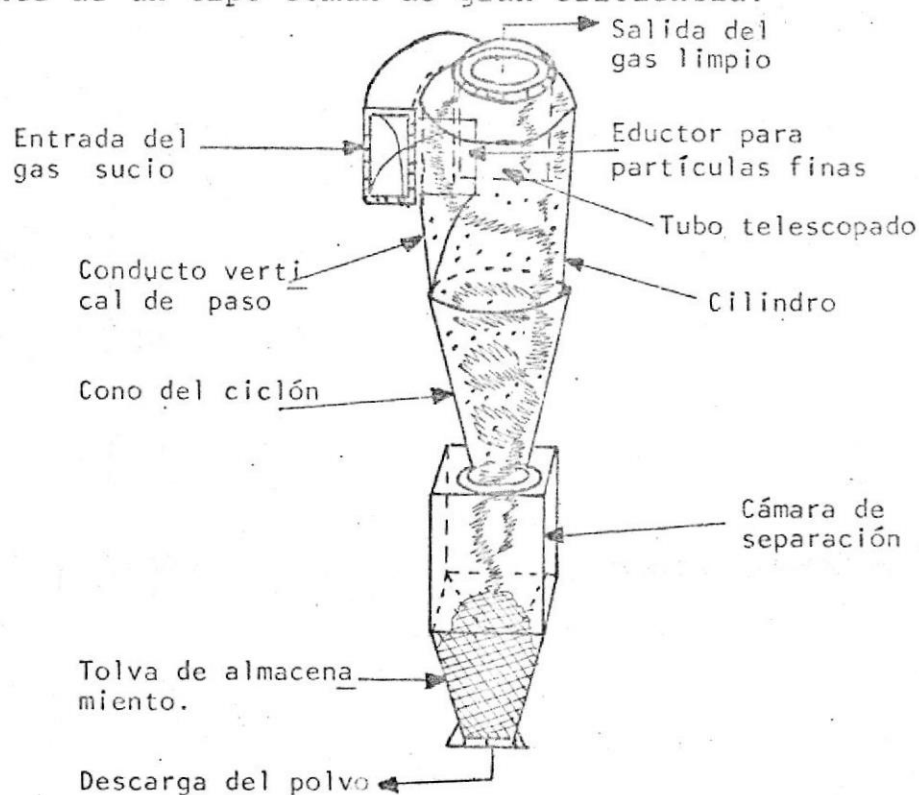


DIAGRAMA 3.4.- Modelo de Flujo en el ciclón Mecánico con Eductor de finos vertical

Características fundamentales.- Debido a su sencillez, confiabilidad y gran eficiencia, el colector - separador de ciclón se ha usado mucho en todo el mundo durante los últimos 100 años.

Para lograr su adaptabilidad tan demostrada hay cientos de tipos de colectores que utilizan el principio del ciclón para atrapar el polvo. Sin embargo, aquí se van a nombrar solamente

te los 3 tipos de gran eficiencia que se usan más: A) Ciclón axial de placas y de diámetro pequeño. B) Ciclón de diámetro grande con entrada enrollada; C) Ciclón de diámetro grande con entrada enrollada y eductor para partículas muy finas. (Ref.2) (Cap. 10).

De estos 3 tipos, muy empleados, cada uno tiene sus ventajas y desventajas inherentes, al relacionarse específicamente con la aplicación a que se destinan. Se pueden conseguir de una gran variedad de tamaños que hacen cambiar sus características de funcionamiento.

Es importante elegir cuidadosamente, para obtener un máximo de ventajas y un mínimo de inconvenientes al utilizarlo para un proceso específico.

Los 3 tipos tienen en común las siguientes 3 características que difieren principalmente en la forma en que el gas sucio es inyectado al cilindro:

A) Eficiencia de recolección.- Es obvio como lo muestra el diagrama 3-5 con relación al tamaño de las partículas.

Otros factores son:

Aumento en:	Efecto en la eficiencia de recolección
Peso específico del polvo	--- Aumenta
Viscosidad del gas (Temp.)	--- Disminuye
Area superficial del polvo	--- Disminuye
Carga del polvo.	--- Aumenta
Velocidad de entrada	--- Aumenta

B) Pérdida de tiro.- La mayoría de los ciclones funcionan a una velocidad de entrada de 915 - 1200 m/min. La demanda de energía (pérdida de tiro) es proporcional al cuadrado de

la velocidad de entrada.

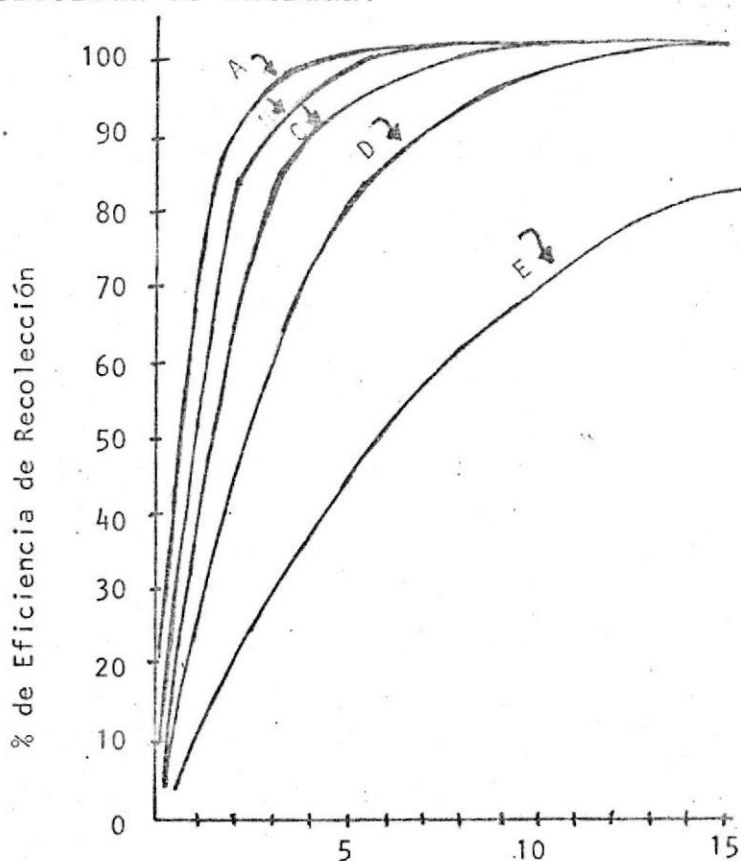


DIAGRAMA 3.5.- Eficiencia de los Colectores de Ciclón

C) El Compromiso fundamental.- El diseño de cada colector separador de ciclón representa un compromiso entre 3 factores: La eficiencia de recolección, la pérdida de carga y el tamaño. En términos generales, las eficiencias más altas exigen pérdidas de carga mayores (gasto de energía) o un tamaño mayor (costo de la instalación) o ambos.

CRITERIOS SOBRE LA EFICIENCIA DE RECOLECCION.-

Aumento de las dimensiones o proporciones del ciclón	Eficiencia colectora	Pérdida de carga	Capacidad
Superficie de entrada - <u>su</u> superficie del cilindro	Baja	Sube	Sube
Longitud del cilindro	Sube	Igual	Igual
Longitud del cono	Sube	Igual	Igual
Diámetro del cilindro	Baja	Igual	Sube

	Eficiencia colectora	Pérdida de carga	Capacidad
Diámetro del tubo de salida del remolino	Baja	Baja	Igual
Penetración del tubo de salida del remolino.	Sube	Sube	Igual

El funcionamiento total característico de cada ciclón es el resultado de la interrelación compleja de todas sus dimensiones y proporciones críticas.

3.2.2. FILTROS DE TEJIDO.- Uno de los colectores de más aplicaciones para la eliminación de partículas secas y sólidas de una corriente de aire o gases es el de filtro de material tejido, en el que el gas que transporta el polvo pasa en una sola dirección a través de algún tipo de filtro de un paño tejido o de fieltro. El diagrama 3-6 muestra un tipo fundamental.

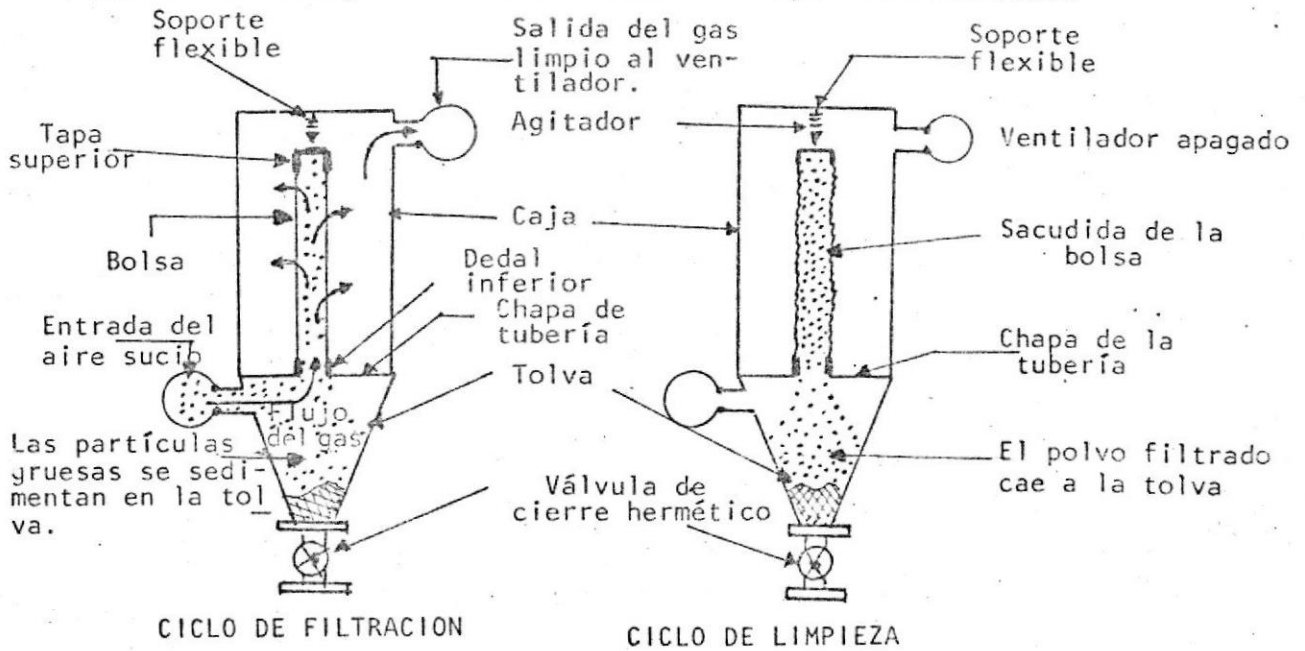


DIAGRAMA 3.6.- Cámara Intermitente de Filtros con limpieza por sacudida manual o automática.

Aunque los filtros de materiales tejidos son de géneros muy diferentes todos funcionan atrapando el polvo en el lado de la tela por donde llega el aire sucio y permitiendo al gas que pase por los intersticios entre las hebras tejidas de la tela. Aunque estos intersticios son de 100 micras en un filtro de

bolsa comercial típico, puede detener partículas hasta de 0.5 micra.

Esta capacidad del filtro de tejido para recoger polvo fino es el resultado directo de la aglomeración de una capa frágil y porosa de polvo en el lado de la tela por donde entra el aire sucio. Esta capa denominada "Torta de filtro", bloquea los intersticios más grandes y atrapa a las partículas más finas.

Los filtros de tela de fieltro más grueso, que es un laberinto complejo de fibras finas orientadas al azar dependen menos de la torta de filtro para tener una mayor eficiencia. En general, las bolsas de fieltro no se pueden limpiar bien sacudiéndolas y hay que limpiarlas con frecuencia con chorros a presión en sentido contrario al del gas que se hace pasar.

El mecanismo que ocasiona la formación de la torta de filtro incluye algunos de los siguientes pasos:

- A) Algomeración de partículas finas en la corriente
- B) Impacto de las partículas mayores en la fibra
- C) Difusión de las partículas menores de una micra en la fibra.
- CH) Atracción y repulsión electrostáticas.
- D) Efecto térmico
- E) Cernido tosco por la tela
- F) Cernido fino por la capa de la torta del filtro

La tabla 3-2 muestra un ciclo típico de operación de un compartimiento perteneciente a un filtro de tejido automático de varios compartimientos.

Los filtros de tela se encuentran en el mercado en una gran

variedad de tamaños y tipos que se pueden distinguir describiendo los componentes más importantes.

Caja o Cubierta.- Puede ser una sola o dividida en compartimientos. El gas puede entrar a través o se puede extraer. Hay, por lo tanto, varias formas de designarlos: caja abierta de presión, caja cerrada de presión, caja cerrada de succión.

Medio filtrante.- Los medios filtrantes se pueden arreglar de las siguientes formas: envoltura, tubular redondo o en zig zag. el tipo tubular es el más común, con un diámetro del tubo vertical que varía entre 12.7 y 91.4 cm. y de una altura de 1.5 a 7.6 mts.

Tela del Filtro.- Hay una gran variedad de géneros que puede utilizar el fabricante del filtro de bolsa. La clasificación principal es en materiales tejidos o afieltrados.

El tipo tejido está en el mercado en gran variedad de texturas como tafeta, sarga o satín con variaciones adicionales como el tipo de fibra: algodón, lana, fibras sintéticas y fibra de vidrio lubricada; tamaño de la hebra: hebra sencilla o multifilamentosa, velluda o nó, de hebra muy torcida o poco, etc.

Las bolsas afieltradas son más caras que las tejidas y las hay de lana y de fibras sintéticas.

Fibras según la temperatura.- Las fibras naturales como el algodón o la lana se han estado utilizando durante años para las temperaturas inferiores a 93°C. En los últimos años se ha extendido el uso de las fibras artificiales a las bolsas de filtro para temperaturas de 149 a 204°C, y más recientemente la

fibra de vidrio lubricado se puede emplear hasta a temperaturas de 288°C.

La selección de un medio filtrante particular es complicada y tiene que tenerse en cuenta las características del polvo y del gas, la necesidad de resistencia al calor húmedo, abrasión a los ácidos y alcális minerales, y la necesidad de resistencia a la tracción. Además hay que valorar algunos factores económicos como el costo inicial, el de la instalación, gastos de energía, duración probable y costo de sustitución.

Ventajas y desventajas de los filtros de tela.- Una ventaja muy importante es su gran eficiencia a diferentes cargas, desde la máxima hasta flujo nulo de gas. Algunos inconvenientes incluyen el gran tamaño, alto costo de mantenimiento y alto costo de sustitución de la bolsa.

Tipos fundamentales de filtros de tela.- De la infinita variedad de filtros de tela, los siguientes son los que tienen mayor aplicación comercial:

- A) Cámara intermitente de filtros con limpieza a mano o por aplicación de energía.
- B) Cámara de filtros convencional automática con agitación mecánica.
- C) Limpieza automática por flujo invertido de aire.
- CH) Limpieza por chorro en anillo, de corriente invertida
- D) Limpieza automática por chorro intermitente invertido

Las características fundamentales de la construcción y funcionamiento de estos 5 tipos de aparatos que utilizan tubos para filtrar, están resumidas en la tabla 3-3. (Ref. 2) (Cap.10).

3.2.3. PURIFICADORES DE GASES POR VIA HUMEDA.- Estos equipos emplean un líquido, generalmente agua, para capturar y después eliminar las partículas de una corriente de gas.

Cámara de Rociado.- Para ilustrar un principio de la purificación por vía húmeda, el diagrama 3-7 presenta uno de los métodos más sencillos de estos aparatos: una cámara de sedimentación por gravedad con mecanismos para rociar, en la que las finas gotitas de agua de la rociada lavan el gas y hacen que se deposite el polvo como lodo en el tanque de sedimentación.

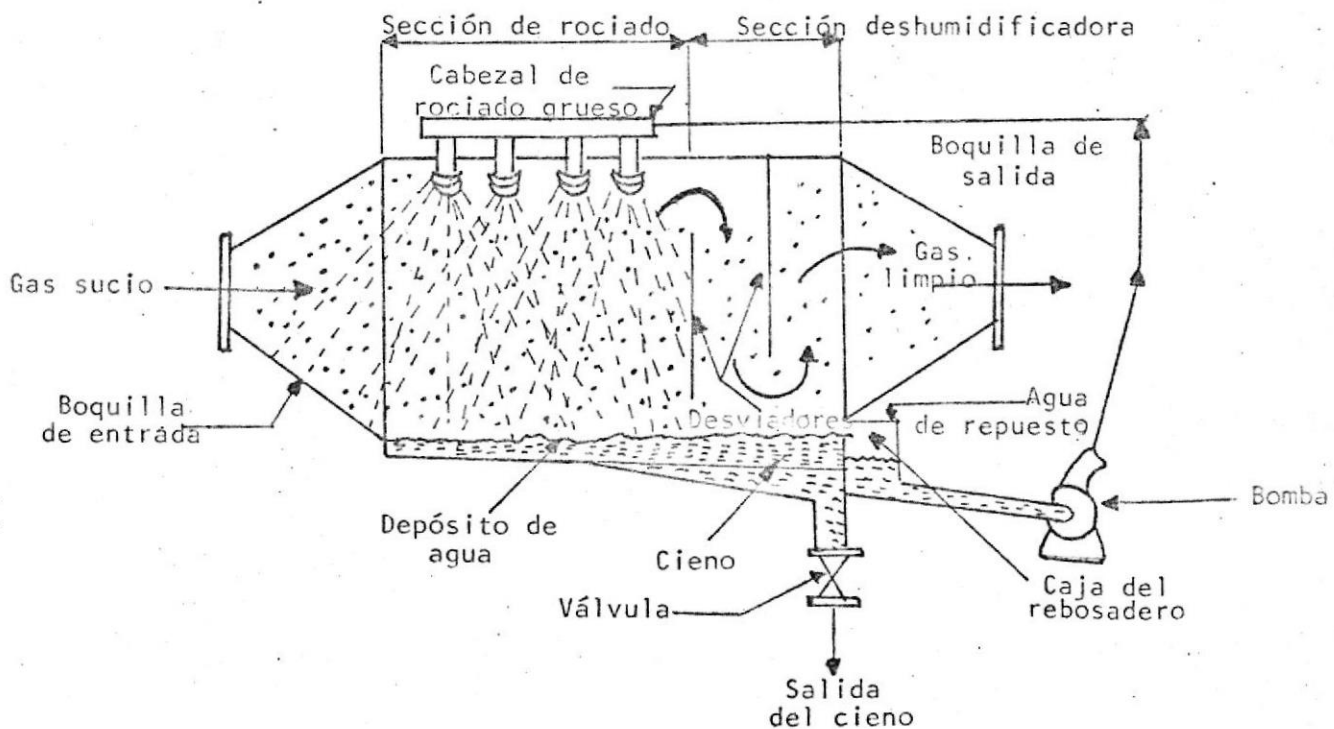


DIAGRAMA 3.7.- Cámara Lavadora de Sedimentación por Gravedad

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

Como en todas las cámaras de sedimentación, algunas partículas más grandes se depositan en la superficie del agua por efecto de la gravedad. La principal recolección se lleva a cabo por colisión entre una partícula polvo y una gotita de agua, con el resultado de que la segunda captura a la primera. Dichas colisiones son ocasionadas por: A) Choque de las partículas más grandes de polvo con las gotas de agua; B) Interceptar la difusión de las partículas más finas; C) Fuerzas electrostáticas. CH) Gradientes térmicos; D) Condensación de la humedad en las partículas de polvo.

Sección de Rociado.- Los mecanismos descritos anteriormente hacen que las partículas de polvo se hagan más grandes y más pesadas al ser capturadas por gotas de agua. Este aumento del tamaño y del peso ayuda a la recolección de las partículas al reforzar las fuerzas que ayudan a separar el polvo más pesado del gas más ligero.

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

En la Cámara de rociar que se presenta en el Diagrama 3-7, casi toda la energía mezcladora es aportada por la presión de los rociadores. Las presiones más altas se usan para producir gotitas más finas, en mayor número y con mayor turbulencia. Todas tienden a mejorar la eficiencia de recolección, pero es

te dispositivo es básicamente un purificador de eficiencia es casa que funciona a niveles de energía bajos y solo adecuado para coleccionar las partículas gruesas.

Ciclo del Polvo.- Las partículas capturadas y húmedas, se sedimentan por gravedad en forma de gotitas en la superficie del depósito de agua. La gotita enseguida cae en el depósito de agua y deja libre al polvo que, como tiene un peso específico más alto que el agua, se sedimenta en el fondo para formar cielo que se extrae periódicamente.

Sección para separar el líquido del gas.- Los desviadores para deshumedecer facilitan la sedimentación de las gotitas al invertir la dirección del flujo del gas hacia la superficie del depósito de agua. Las fuerzas de la inercia y de la gravedad se combinan para hacer chocar las gotas contra la superficie del depósito.

Ciclo de Agua.- En el diagrama 3-7, el agua se recicla a una velocidad de 0.12 a 0.6 litro/min. por cada 28.328 litros de gas que se limpian. La pérdida de agua que hay que reponer es proporcional a la cantidad evaporada por el gas.

Introducción del Líquido de lavado.- El líquido de lavado se puede introducir en la cámara de lavado de diversas formas, entre ellas las siguientes: A) Boquillas de rociamiento finas; B) Boquillas gruesas de rociamiento; C) Boquillas muy gruesas de rociamiento, es decir, tubos de 19 mm de diámetro; CH) Por compuerta o vertedero de superficie; D) Choque del gas contra la superficie del líquido. E) Introducción del gas bajo la superficie del líquido en el depósito.

Las rociadas líquidas pueden ser: a baja o alta presión, la dirección del flujo al rociar puede ser: transversal, concurrente, es decir, en la misma dirección del flujo de gas, o a contracorriente.

Eficiencia de recolección.- La eficiencia colectora de todos los purificadores, por vía húmeda que están bien diseñados, se puede relacionar con la energía total gastada. Los colectores de baja energía tienen una eficiencia también baja, y los de alta energía tienen gran eficiencia. La energía se puede introducir en el ciclo del agua o en el del gas.

Ventajas y Desventajas.- Una gran ventaja de los purificadores por vía húmeda es la gran variedad de tipos, que permite la selección de un colector adecuado para casi cualquier problema de purificación de gases, con una eficiencia que llega a ser del 99%.

Algunos inconvenientes, incluyen las dificultades para deshacerse del cieno de desechos, el costo elevado de energía del lavador de eficiencia alta, el costo de los materiales que intervienen en el servicio cuando hay corrosión química y los problemas potenciales de las boquillas obstruidas. La falta de líquido para lavar que sea suficientemente claro y el tratamiento de líquidos lavadores corrosivos.

Para tener una idea de los tipos básicos de purificadores de gases por vía húmeda y de sus características de funcionamiento. Véase la tabla 3-4.

Uno de los más importantes grupos de equipos colectores-se-

paradores de partículas de alta eficiencia es el correspondiente al de "Precipitadores Eléctricos" cuyo estudio se lo hará detalladamente en Cap. 4.

3.3. CRITERIOS DE SELECCION

Debido al gran número de variables, la selección de un colector de partículas para una aplicación especial, es muy complicada. En muchos casos, la elección del tipo de colector está ya bien establecida por precedentes funcionales. (Ver Tabla 3-5).

Además de la tabla en cuestión, quizás resulte útil el siguiente enfoque:

- A) Determinar si un colector mecánico puede satisfacer la eficiencia colectora requerida. En caso contrario, se pueden tener en cuenta las siguientes alternativas de alta eficiencia colectora.
- B) Si la temperatura es menor de 260°C y el volumen del gas menor de 47000 lt/seg., un filtro de tela quizás justifique su elevado costo de mantenimiento.
- C) Si la corrosión y la forma de deshacerse de los desperdicios líquidos no son factores de gran importancia, quizás un lavador por vía húmeda justifique su alto grado de funcionamiento.
- CH) Si ninguno de los anteriores satisface las exigencias, es posible que resulte conveniente adquirir un "Precipitador eléctrico" a pesar del costo tan elevado de la instalación.

T A B L A 3.1. CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE LOS COLECTORES COMERCIALES DE PARTICULAS

TIPO BASICO	TIPO ESPECIFICO.	FUERZA BASICA DE FUNCIONAMIENTO.	MEDIDAS BASICAS Y UNIDADES DE CAPACIDAD.	CAPACIDAD TIPICA EN Lt/SEG. POR MEDIDA BASICA DE LA CAPAC.	SUPERFICIE NECESARIA COLECTOR QUE LIMPIE 47000L/s (1000 CFM) ⁵	ENERGIA NECESARIA Y % EFICIENCIA COLECTORA EN POLVO ³ .	COSTO EN MILES DE DOLARES PARA UN COLECTOR QUE LIMPIE 47000Lt/Seg. (1000 CFM)					Efecto recolección por encima o de bajo de capacidad ⁴ .	
							Costo equipo transportado e instalación	Costo anual Mantenimiento y energía	Equipo en el local ¹	Instalación.	Mantenimiento.	Energía ²	Por encima.
Colectores mecánicos	De cámara de Sedimentación	Gravedad	Volumen de la cámara (m ³)	9.4	241.8	0.508	25.	10	3	1	0.5	Baja	Sube
	De desviador	Inercia	Superficie de entrada (m ²)	564-1692	28	1.27	40	13.	4	2	1.3	Sube	Baja
	Ciclones de alta eficiencia.	Centrífuga	Superficie de entrada (m ²)	1410-1692	11.62	10.16	80	20	7	2	10	Sube	Baja
Filtros de material tejido	Limpieza Manual.	Filtración con torta de filtro	Superficie del tejido (m ²)	0.47 - 1.9	93	10.16	99	35	20	7	10	Baja	No cambia
	Limpieza automática por agitación.	Filtración con torta de filtro	Superficie del tejido (m ²)	0.47 - 1.9	93	12,7	99	60	30	10	13	Baja	No cambia
	Limpieza automática con contracorriente a presión.	Filtro	Superficie del tejido (m ²)	1.4 - 3.76	56	20.32	99	80	35	15	20	No cambia	No cambia
Lavadores por vía húmeda	Desviadores de choque	Captura del líquido.	Superficie transversal del desviador (m ²)	235 -282	28	10.16	80	30	15	7	10	Sube	Baja
	Torre de relleno	Captura del líquido.	Superficie en sección transversal del lecho (m ²)	235 - 329	23.25	17.8	90	40	20	9	17	Baja	Sube
	Venturi	Captura del líquido.	Superficie de la garganta (m ²)	3290 a 14100	9.3	76.2	99	50	50	11	75	Sube	Baja
Precipitadores eléctricos.	De un solo campo.	Eléctrica	Superficie de electrodos colectores. (m ²)	2.35	25	1.27	95	75	55	4	1.3	Baja	Sube
	De campos múltiples	Eléctrica	Superficie de electrodos colectores (m ²)	2.35	46.5	1.27	99	100	70	5	1.3	Baja	Sube

- 1 Los costos del equipo, transportado al lugar de colocación, los de instalación y de mantenimiento se basan en costos de construcción de Acero inoxidable en 1970 y no incluye el equipo auxiliar como la estructura de soporte, las conexiones de servicios, el aislamiento térmico, cimientos, chimeneas, etc. varía mucho debido a las necesidades específicas de cada instalación inclusive la localización geográfica. Se usa solo para hacer comparaciones generales.
- 2 Costos de energía basados en el de la corriente eléctrica por Kilowatt/hora (0.015 dólares)
- 3 El polvo muy fino se considera como del 70% por peso de menos de 10^4 .
- 4 Algunos colectores-separadores se pueden modificar para que la eficiencia colectora sea inferior o superior a la capacidad.
- 5 Las superficies del plano no incluyen las conexiones de servicios.

T A B L A 3.2. CICLO DE FUNCIONAMIENTO DE UN COMPARTIMIENTO DE LA CAMARA DE BOLSAS MULTIPLES USUAL,
CON FILTRO DE TEJIDO

CICLO NUMERO	CICLO DE FILTRACION	ESTADO DEL TEJIDO	GROSOR DE LA TORTA DEL FILTRO	PROPORCION AIRE-TEJIDO O VELOCIDAD DE FILTRA- CION (metros/hr)	PERDIDA DE PRESION cm H ₂ O MANOM.	EFICIENCIA COLECTORA
1	Nuevo	Limpio	Cero	0.61 - 0.91	< 1.27	No hay polvo
2	Capa previa	Intermedia	Cero a mínimo	0.61 - 0.91	< 1.3 a 5 - 7.6	Baja hasta alta
3	Filtración	Cubierto	Parcial	0.61 - 0.91	7.6 a 12.7	Alta
4	Filtración	Completamente cubierto.	Máximo	0.61 - 0.91	9.1 - 15.3	Alta
5	Limpieza del filtro.	Sacudido	Máximo a mínimo	Apagado	Cero	No funciona
6	Filtración	Cubierto	Mínimo	0.61 - 0.91	5 - 7.6	Alta
7	Filtración	Bien cubierta	Máximo	0.61 - 0.91	9.1 - 15.2	Alta

T A B L A 3.3. RESUMEN EN LOS TIPOS BASICOS DE FILTROS DE TEJIDO CON BOLSAS EN FORMA DE TUBO

TIPO BASICO DE CAMARA DE BOLSAS	TIPO DE BOLSA	DIRECCION NORMAL DEL FLUJO DE GAS DURANTE LA FILTRACION		LIMPIEZA DE LOS TUBOS		PROPORCIONES A TEJIDO M/hr (m ³ /hr/m ²)	ESPACIO NECESARIO	COSTO POR m ² DE MATERIAL
		A TRAVEZ DEL COLECTOR	A TRAVEZ DEL TUBO	METODO	CICLO			
Intermitente	Tubo de tejido	Hacia arriba	De adentro hacia afuera.	Agitación manual o con aplicación de energía.	Periódicamente cuando se para.	0.3 - 1.2	Muy grande	Bajo
Convencional	Tubo de tejido	Hacia arriba	De adentro hacia afuera.	Agitación, automática-mecánica o neumática.	Intermitente para compartimientos aislados.	0.3 - 1.2	Muy grande	Bajo
Con Limpieza de flujo invertido.	Tubo de tejido	Hacia arriba	De adentro hacia afuera.	Se riega el tubo automáticamente por presión baja del flujo invertido.	Intermitente por compartimientos aislados.	0.3 - 1.2	Muy grande	Bajo
Limpieza con anillo de chorro a presión	Tubo de fieltro	Hacia abajo	De adentro hacia afuera.	Anillo móvil con aire a presión.	Continuo cuando hay mucho polvo o intermitente si hay poco polvo en el flujo del gas.	0.91 - 2.4	Grande	Alta
Limpieza con chorro intermitente a presión.	Tubo de fieltro	Hacia arriba	De afuera hacia adentro.	Chorro intermitente a presión alta.	Programado por múltiples mientras fluye el gas.	0.91 - 2.4	Grande	Alta

T A B L A 3.4. RESUMEN DE LOS TIPOS BASICOS DE LAVADORES

TIPO BASICO	TIPO ESPECIFICO	AGUA Vs. FLUJO DEL GAS CONCURRENTE - OPUESTO CRUZADO	CIRCULACION DEL AGUA (0.013 L/min.de agua por 1000 L/seg. de gases). (GPM/1000 CFM sin mul tiplicar por factor)	FACTOR	PERDIDA DE PRESION EN cm H ₂ O MAN.
	Ciclón húmedo de entrada tan gencial.	Concurrente o cruzado	3 a 5	X 0.013	25 - 10
Desviador de choque	Ciclón húmedo de desviador en espiral.	Concurrente	1 a 2	"	10 - 15
	Múltiples placas	Concurrente	3 a 5	"	15 - 30
Torre rellena	Relleno fijo	Concurrente u opuesto	10 a 20	"	5 - 10
	Lecho fluído	Opuesto	15 a 30	"	10 - 30
	Lecho inundado	Concurrente	2 a 4	"	10 - 20
	Lecho múltiple	Opuesto	20 a 40	"	10 - 30
Orificio sumergido	Ranura ancha	Concurrente	15 a 30	"	5 - 37.5
	Abertura circular	Concurrente	15 a 30	"	5 - 37.5
	Múltiples orificios	Concurrente	15 a 30	"	5 - 37.5
Venturi	Alta presión		5 a 7	"	75 - 250
	Presión mediana	Opuesto o concurrente	3 a 5	"	25 - 75
	Presión Baja		2 a 4	"	7.5 - 75
	Disco inundado		5 a 6	"	75 - 175
Diversos lava- dores y combi- naciones de va- rios.	Relleno de flujo opuesto	Opuesto	1 a 4	"	5 - 10
	Ventilador centrífugo	Concurrente	1 a 2	"	-
	Venturi múltiple	Concurrente	4 a 6	"	50 - 200
	Combinación de Venturis	Concurrente	5 a 7	"	37.5 - 150
	Tipo de combinación de Ventiladores.	Concurrente	2 a 3	"	-

T A B L A 3.5. USO TIPICO DE LOS COLECTORES DE PARTICULAS

INDUSTRIA Y APLICACION ESPECIFICA	TIPOS DE COLECTORES		
	MAS USADOS	TAMBIEN USADOS	MUY POCO USADOS
PRODUCTOS DE ROCA			
Horno del Proceso húmedo del cemento	CM, PE	CC, LH	FT
Horno del Proceso seco del cemento	CM, PE, FT	PE, CM	LH
Molinos de cemento	FT	PE, CM	LH, CC
Silos de cemento	FT		
Preparación de Materia prima	CM, FT	PE	CC, LH
Secador de asfalto	CM, LH	PE, FT	CC
Secador de Carbón	CM, LH	CM, LH	FT, PE
Molinos de Carbón	FT		PE, CC
Horno para alúmina	CM, FT, PE	LH	CC
Horno para Bauxita	CM, PE	FT, LH	CC
Horno para Yeso	CM, FT, PE	FT, LH	CC
Oxido de Magnesio	CM	FT, LH, PE	
Horno para Cal	CM, PE	FT, LH	
Horno de Fosfato	CM, LH, PE	FT	
Acabado	FT	CM, PE	LH, CC
HIERRO Y ACERO			
Altos Hornos	LH, PE	CM	FT
Horno Abierto	LH, PE	FT	CM, CC
Horno básico de Oxigeno	LH, PE		

T A B L A 3.5 (Continuación)

INDUSTRIA Y APLICACION ESPECIFICA	TIPOS DE COLECTORES		
	MAS USADOS	TAMBIEN USADOS	MUY POCO USADOS
Horno eléctrico	FT, LH	PE	CM, CC
Sinterización	CM, LH	PE	CM, CC
Cubilote	LH	CM, FT, PE	CC
Beneficio del Mineral	CM	FT, PE, LH	
Nodulización del Mineral	CM	LH, PE	
Calcinación de Minerales	CM, LH, PE		FT, CC
Taconita	CM	FT, LH, PE	CC
Calcinación de piritas	CM, LH, PE		FT, CC
Biselado en caliente	LH, PE		CM, FT, CC
Hornos de Coque	PE	LH	CM, FT, CC
Altos Hornos de Ferromanganeso	CM, PE	CC, LH	FT
Precalentamiento de Chatarra	LH		CM, FT, PE
MINERIA Y METALURGIA			
Beneficio y Preparación del Mineral	CM, FT, LH	PE	CC
Cubas de aluminio	FT, LH, PE	CM	CC
Fosforo elemental	PE	LH	FT, LH
Convertidor de Cobre	PE	FT, LH, CC	CM
Horno de Reverbero para Cobre	PE	LH	CM, FT, CC
Calcinación del Cobre	CM, PE	LH, CC	FT
Secador de Mineral de Ilmenita	CM, PE	CC	FT, LH
Molibdeno	LH	PE	FT, CM, CC
Metales Preciosos	FT, PE	CM, LH	CC

T A B L A 3.5 (Continuación)

INDUSTRIA Y APLICACION ESPECIFICA	TIPOS DE COLECTORES		
	MAS USADOS	TAMBIEN USADOS	MUY POCO USADOS
Horno de Litio	PE	PE	CM, PE
Horno de Plomo	FT, LH		CM, CC
Bióxido de Titanio	FT, LH		
Cubilote de Zinc	PE	LH	
Calcinación del Zinc	CM, PE	FT, LH	CM, CC
Fundición del Zinc	FT, LH, PE		CM, CC
FUNDICION E INDUSTRIAL			
Cubilote Ferroso	LH	CM, PE	FT, CC
Cubilote no Ferroso	FT, PE	CM, LH	CC
Cuarto de Limpieza de la fundición	FT, PE	CM, LH	CC
Preparación y Manejo de la Arena	FT	LH, PE	CM, CC
Ventilación	CM, FT	LH	PE
Maquinado	CM, FT	LH	PE
Molinos de Harina y Forrajes	CM, FT		LH, PE, CC
Aserraderos	CM	FT	LH, PE
Trabajo Mecánico de la madera	CM, FT	LH	PE
PULPA Y PAPEL			
Horno de recuperación del licor negro residual.	PE	LH	CM, FT
Horno de Cal	CM, LH	PE, CC	FT
Tanque disolvente Químico	LH	CM, FT, PE	

T A B L A 3.5 (Continuación)

INDUSTRIA Y APLICACION ESPECIFICA	TIPOS DE COLECTORES		
	MAS USADOS	TAMBIEN USADOS	MUY POCO USADOS
ENERGIA ELECTRICA - TIPO DE COMBUSTIBLE			
Carbón de parrilla mecánica	CM	PE, CC, LH	FT
Carbón de parrilla esparcidora	CM	PE, CC, LH	FT
Carbón pulverizado	PE, CC	LH	FT, CM
Petróleo	CM	PE	FT, LH, CC
Gas Natural	Ninguno	Ninguno	
Lignita	PE, CC	LH	FT, CM
Madera y corteza de árbol	PE, CC	LH	FT, CM
Bagazo	CM	PE	FT, LH, CC
Coque Fluído	CM, PE	LH	FT, CC
INCINERADORES DE BASURA			
Edificios de Departamentos	LH	PE	CM, FT, CC
Industrial (oxidante térmico)	PE, LH	CM, CC	FT
Municipal	PE, LH	CM, CC	FT
REFINERIA DE PETROLEC Y DE PRODUCTOS QUIMICOS			
Instalación de Desintegrador catalítico-reactor	CM	Ninguno	
- regenerador	CM	Ninguno	
- Caldera de CO	PE	CM, LH	FT, CC
Rocío de Acido Sulfúrico	PE, LH	CM	FT, CC
Rocío de Acido Fosfórico	LH		
Rocío de Acido Nítrico		LH	
Negro de Carbón	FT	CM, PE, LH	CC
Destilación de Esquisto Bituminoso	CM, CC	PE	FT, LH
Preparación de Materias Primas	CM	LH, PE, FT	CC

*CM = Colector Mecánico; FT = Filtro de tejido; LH = Lavador por vía húmeda; PE = Precipitador eléctrico; CC = Colector Combinado = CM + PE

CAPITULO 4

EVALUACION DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO OPTIMO PARA LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

4.1. PRINCIPIOS DEL FUNCIONAMIENTO

El precipitador industrial eléctrico fué inventado en 1910, por Frederic Gardner Cottrell, cuando era profesor en la Universidad de California.

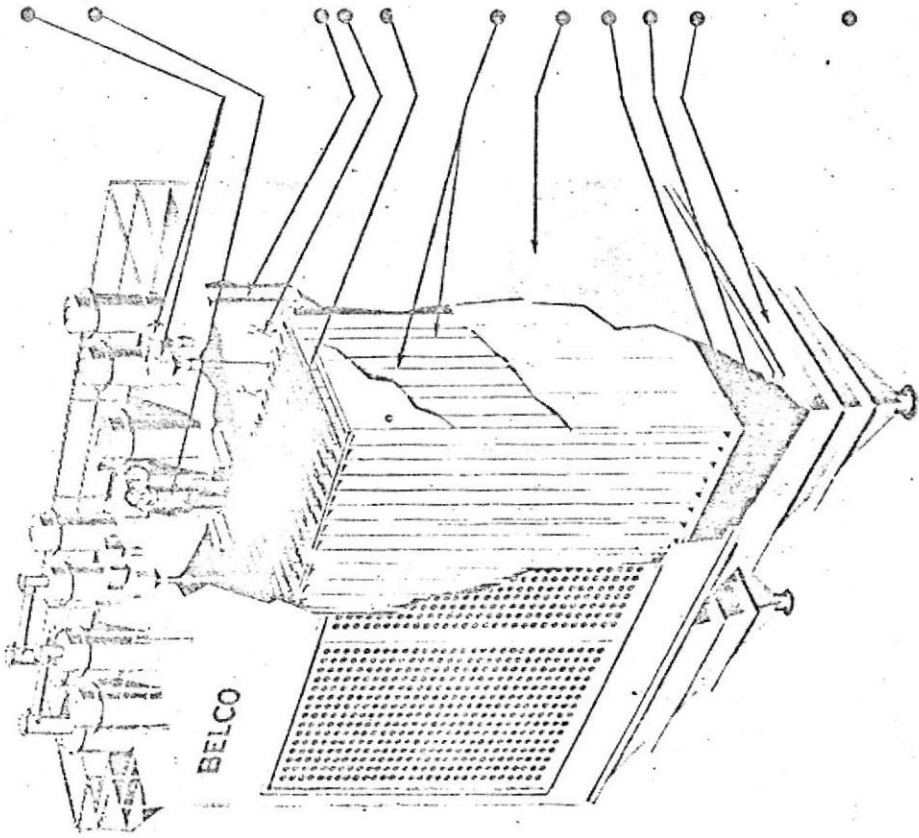
Los precipitadores eléctricos se han aplicado a una gran variedad de problemas de limpieza de gases, con eficiencias colectoras hasta del 99.9%, a capacidades de 1'880.000 litros/seg. y a temperaturas del gas de 538°C.

Un precipitador eléctrico separa las partículas suspendidas en una corriente de gas cargando primero el polvo hasta un voltaje negativo de 50.000 V, precipitándolo en un electrodo colector conectado a tierra y después descargando el polvo reunido en una tolva.

Aunque los voltajes que se utilizan son muy elevados, el consumo de energía es bajo y la caída de presión la menor de todos los colectores de eficiencia alta.

En los modelos comerciales de tamaño natural, el gas sucio pasa horizontalmente por conductos estrechos formados por filas paralelas de electrodos colectores conectados a tierra. En las líneas centrales de cada pasadizo del gas hay alambres espaciados, de alto voltaje y aislados electricamente, que hacen que el gas sucio pase entre los alambres de alto voltaje y las placas conectadas a tierra.

En el diagrama 4-1 se presenta un dibujo tridimensional de un precipitador moderno. Las dimensiones típicas de los pasajes



Todos los vibradores y dispositivos para sacudir y desprender el polvo, están montados encima de la caja del precipitador para facilitar la revisión y el ajuste.
 Cada aislador de soporte de alto voltaje, está montado en un aislador individual montado en el techo de la caja, lo cual resulta conveniente por muchas razones:

- a—los aisladores están lejos de la corriente de gas.
- b—Se pueden inspeccionar, limpiar y hasta sustituir sin tener que abrir la caja.
- c—los aisladores están protegidos del polvo por cubiertas de puesta a tierra.
- d—En servicios especiales se pueden proteger los aisladores con aire caliente seco.

Techo de la caja construido en fábrica, de una sola pieza, de acero. Módulos de electrodos colectores suspendidos de rejillas, de fabricación especial y aisladas contra golpes.

Campos de descarga de alto voltaje suspendidos de una rejilla de fabricación industrial, se mantienen en la posición exacta con cuatro portaisladores de alto voltaje.

La posición exacta de los electrodos de descarga, suspendidos de la rejilla, se mantiene con cuatro portaisladores de alto voltaje. Los alambres de descarga de los electrodos están adaptados en forma especial en ambos extremos, para asegurar un buen contacto eléctrico, para evitar que se quemen y para prolongarles la vida.

La caja tiene el techo, paredes y tolvas de diseño exterior sencillo para facilitar la aplicación del aislamiento térmico. Un alambre roto se puede localizar, quitar y sustituir en unos cuantos minutos al abrir la caja.

No pueden caer cosas pesadas en las tolvas que bloqueen o rompan las válvulas.

Las tolvas piramidales están equipadas con puertas de acceso para lavar, orificios para remover o picar el polvo, lados muy inclinados y salidas grandes rebordadas. Estas condiciones permiten cubrir las necesidades de servicio; las tolvas se pueden equipar con serpentines de calentamiento, vibradores, macillos e indicadores de nivel. Otras formas de tolvas: con fondo para desprender el polvo, del tipo de cubeta, y de fondo húmedo.

Puertas con cerradura de seguridad, que se pueden abrir rápidamente, proporcionan un acceso fácil por el techo y por los lados de la caja.

Diagrama 4-1.- Precipitador eléctrico moderno de placas secas. (Cortesía de Belco Pollution Control Corp.)

del gas en un precipitador comercial grande son: 22.8 cm. de ancho, 6 m. de altura y 82 m. de longitud. La distancia eléctrica, es decir, la distancia entre los alambres del electrodo de descarga de alto voltaje y las placas colectoras de conexión a tierra es de la mitad de la anchura de los pasajes del gas, o sea de 11.4 cm.

Un corte transversal típico de uno de los muchos módulos de 4 pasadizos de electrodos colectores aparece en el esquema del diagrama 4-2. Los paneles de los electrodos colectores de 1.8 m. se montan en la fábrica con láminas de acero moldeadas con rodillos. Están colgados de una rejilla paralelamente a 22.86 cm., una de otra, para formar los pasadizos por el gas. Los alambres del electrodo de descarga de alto voltaje están colgados exactamente en la línea central de cada pasaje del gas.

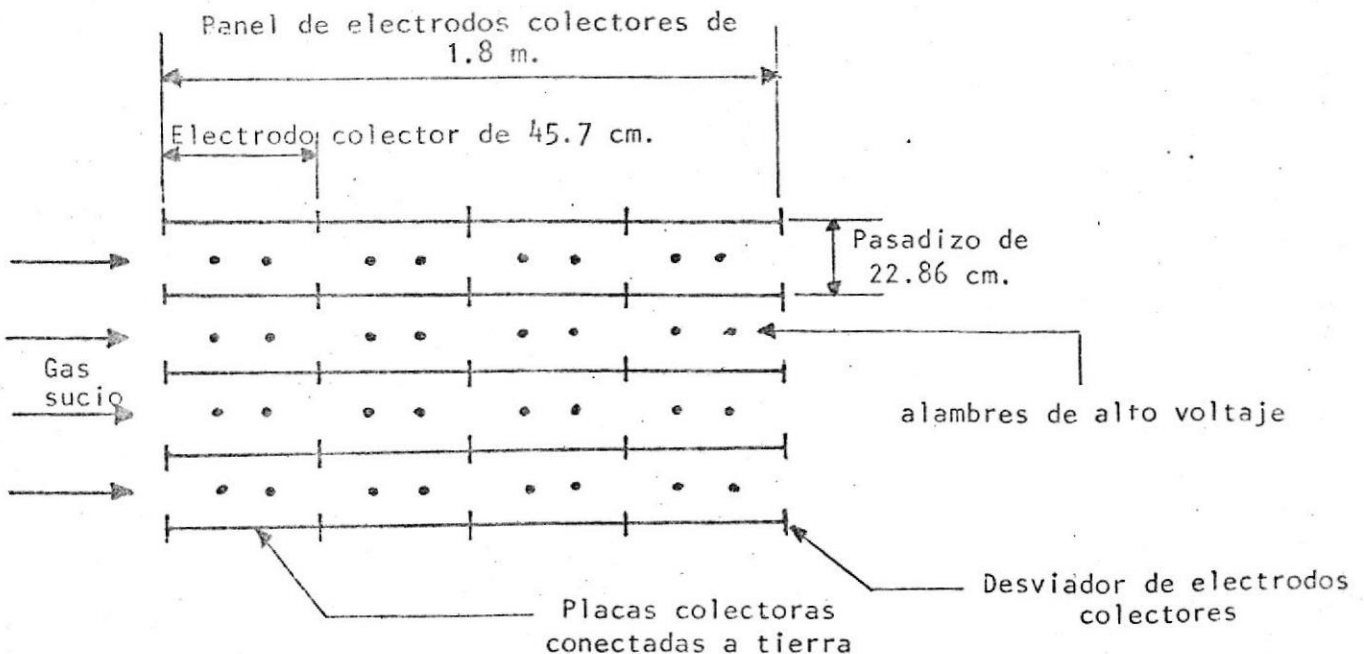


DIAGRAMA 4-2.- Corte transversal de un módulo de electrodos colectores de cuatro pasadizos

El diagrama 4-3 muestra el patrón de flujo de la corriente entre los alambres y las placas. Este flujo, también denominado "Viento Eléctrico" resulta de una migración masiva de iones de gas con carga negativa hacia la placa conectada a tierra y relativamente positiva.

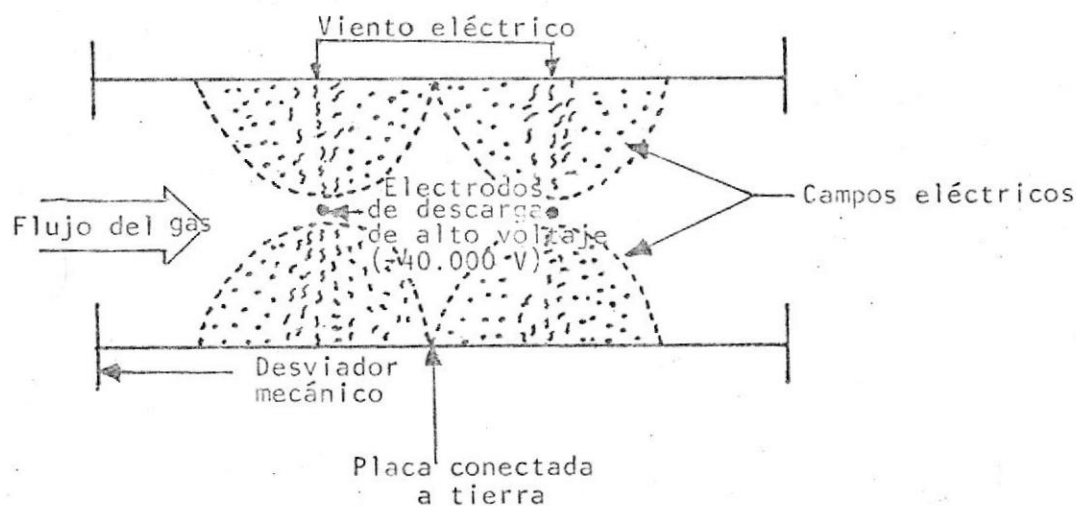


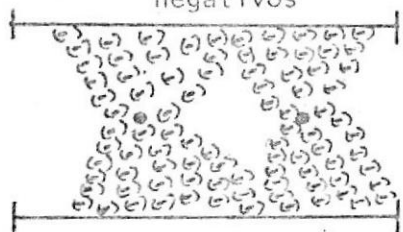
DIAGRAMA 4-3.- Campo eléctrico de alto voltaje

El diagrama 4-4 presenta los 6 pasos esenciales del Proceso Cottrell. Los pasos 1, 2, 3 y 4, son continuos. Los pasos 5 y 6 están programados a intervalos entre límites de un minuto a 6 horas de acuerdo con muchos factores del funcionamiento.

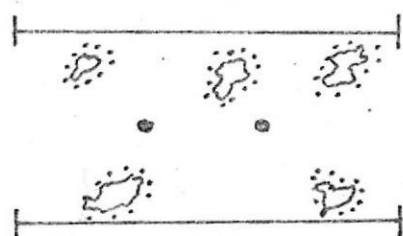
1. Ionización del Gas.- Los precipitadores eléctricos funcionan a 40.000, a 50.000 V por debajo del potencial de tierra. Este potencial es suficiente para hacer que miles de millones de electrones se desprendan de los alambres y bombardeen a las moléculas de gas de la región próxima a los alambres. La fuerza de este bombardeo hace que se formen iones del gas positivos y negativos cuya presencia se puede observar por la aparición de una corona azul visible.

Los iones responden a la potente fuerza electrostática moviéndose hacia los electrodos de carga opuesta. Los iones de car-

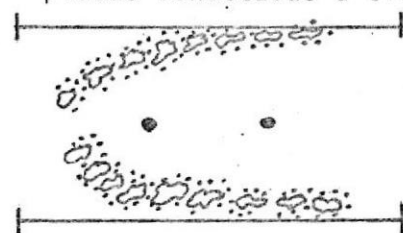
1.- Flujo de iones de gas negativos



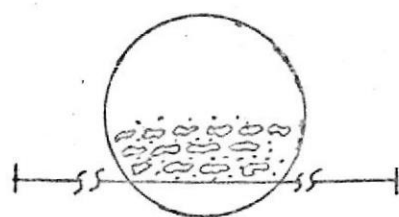
2.- El polvo adquiere carga negativa



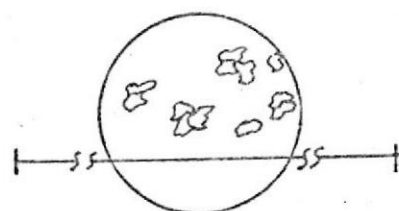
3.- El polvo se precipita en las placas conectadas a tierra



4.- Se forma la capa de polvo



5.- Capa de polvo desprendida del colector



6.- El polvo aglomerado cae en la tolva

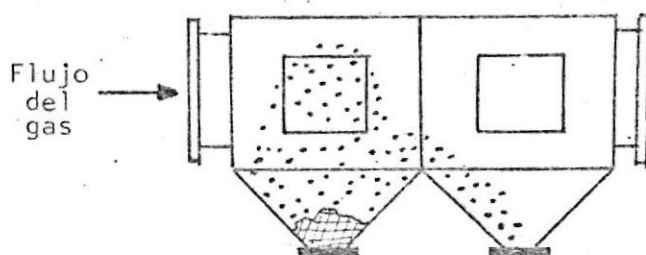


DIAGRAMA 4-4.- Proceso COTTRELL en seis pasos

ga positiva del gas vuelven al alambre negativo y recuperan los electrones perdidos; los iones negativos del gas se dirigen hacia el electrodo colector conectado a tierra (relativamente positivo), llenando el pasadizo del gas de miles de millones de iones negativos de gas. La mayor parte del flujo de corriente en un precipitador eléctrico se debe a la corriente de iones negativos de los alambres a las placas.

2. Carga del Polvo.- Al ser arrastradas las partículas de polvo a través de los pasadizos por el gas, chocan con los iones negativos del gas y adquieren una carga negativa. Como

los iones del gas son miles de veces mas pequeños incluso - que el polvo menor de una micra y debido a su gran número, constituyen fuerzas de carga suficientes para casi cualquier problema de recolección de partículas.

3. Precipitación del Polvo.- Las partículas de polvo con carga negativa, se dirigen rápidamente a las placas de "tierra" - (positivas) y se unen a ellas sujetas por fuerzas eléctricas potentes.
4. Formación de la Capa de Polvo.- Las partículas de polvo forman una capa cada vez más gruesa en los electrodos colectores y la carga negativa pasa gradualmente del polvo al electrodo conectado a tierra.

Al engrosar la capa, las cargas del polvo precipitado recientemente tienen que ser conducidas por las precipitadas anteriormente. La resistencia de la capa de polvo a este flujo de corriente se denomina "Resistividad del Polvo".

Los precipitadores funcionan bien con polvos cuya resistividad se encuentra entre los límites de 10^7 a 10^{11} Ω/cm .

5. Sacudida del electrodo Colector.- Cuando ya se ha precipitado una capa de un grosor de 1.59 a 6.35 mm., las partículas más cercanas al electrodo han perdido una gran parte de su carga por la placa conectada a tierra. La atracción eléctrica se ha debilitado. Las partículas recién llegadas conservan una gran parte de su carga por estar eléctricamente aisladas de la placa por la capa de polvo y por tanto mantienen la capa completamente adherida al electrodo. Una sacudida - violenta, hace que la capa de polvo se desprenda del electrodo colector. La fuerza de la sacudida debe ser adecuada pa-

ra que la capa se desprenda formando conglomerados relativamente grandes de partículas y no se disperse otra vez en partículas menores de una micra.

6. Caída del polvo en la Tolva.- Los conglomerados relativamente grandes caen en las tolvas por gravedad al igual que en la cámara de sedimentación por gravedad. La mayoría de los precipitadores eléctricos funcionan a velocidades del gas de 1 a 3 m/seg. para permitir suficiente tiempo de sedimentación. El voltaje se mantiene alto para volver a cargar y precipitar cualquier partícula fina que pueda ser arrastrada durante el ciclo de desprendimiento de la capa de polvo.

Un ejemplo ilustrativo de los principios de operación de un precipitador eléctrico de 2 etapas se muestra en diagrama 4-5.

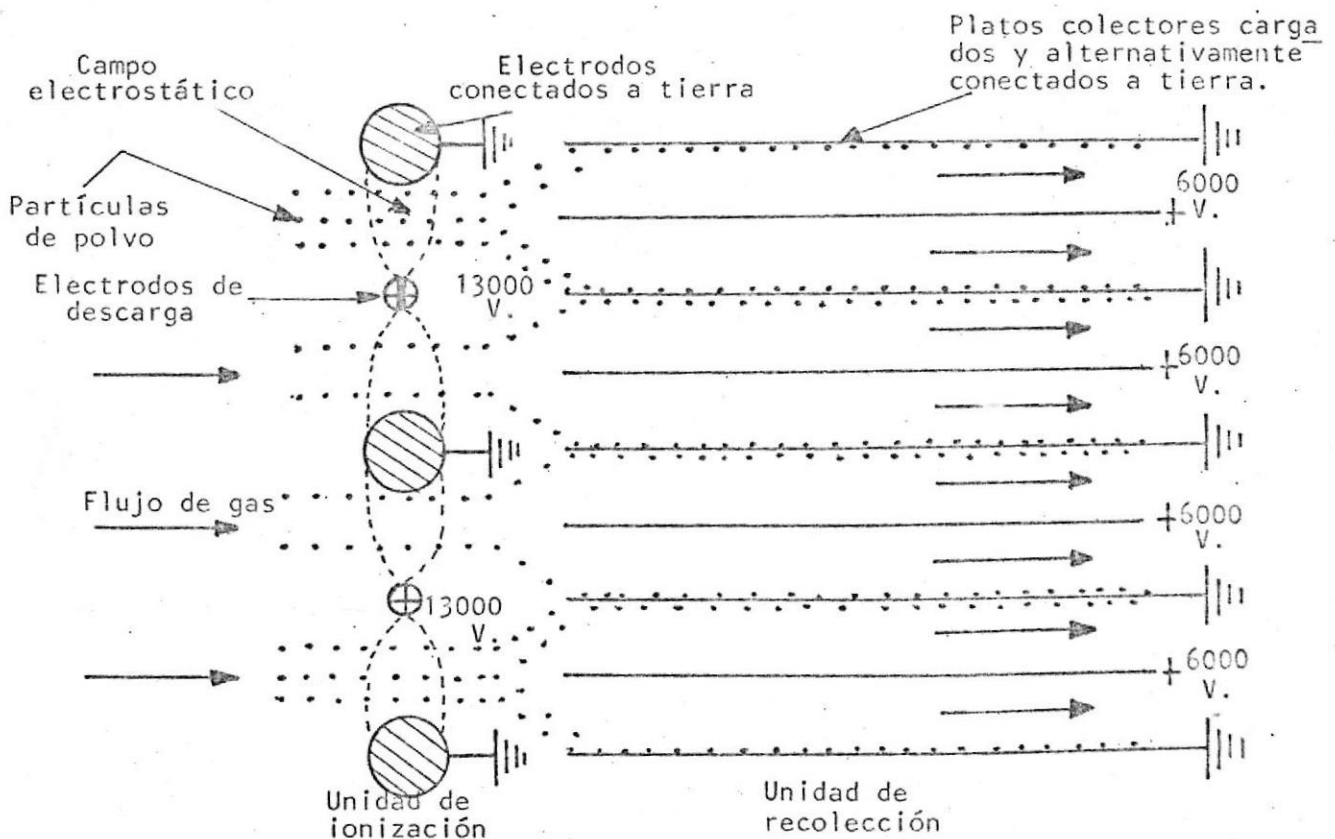


DIAGRAMA 4-5.- Representación esquemática del principio del precipitador de dos etapas

4.2. VENTAJAS, DESVENTAJAS Y SUS DIVERSAS APLICACIONES

El uso de precipitadores eléctricos para la recolección de contaminantes del aire ha crecido porque de ellos existen muchas ventajas inherentes, algunas de las cuales se observan a continuación:

1. Alta eficiencia puede ser alcanzada. En algunos casos la eficiencia debe exceder el 99%.
2. Pueden ser recolectadas partículas muy pequeñas. Teóricamente no hay límite inferior al tamaño de una partícula que no pueda ser recolectado.
3. Los polvos pueden ser recolectados en seco para recuperación de material valioso.
4. Las caídas de presión y temperatura son pequeñas. La caída de presión a través de un precipitador eléctrico pocas veces excede a 3.5 pulgadas de columna vertical de H_2O .
5. Los precipitadores son normalmente diseñados para operar continuamente con mantenimiento pequeño sobre grandes intervalos de tiempo.
6. Hay muy pocas partes móviles, alguna que otra, lo cual tiende a reducir el mantenimiento requerido.
7. Los precipitadores pueden ser usados a altas temperaturas. Las temperaturas arriba de $300^{\circ}F$ aproximadamente son normales. Diseños especiales han sido usados para temperaturas tan altas como $1000^{\circ}F$, pero ordinariamente la temperatura no excede los $800^{\circ}F$.
8. Los precipitadores pueden ser usados para recolectar nieblas de ácido y alquitrán, las cuales son difíciles, si no

imposibles de coleccionar por otros métodos.

9. Los materiales extremadamente corrosivos pueden ser recolectados con construcción especial.
10. La eficiencia de recolección debe ser ajustada, para adaptarse a la aplicación, por incremento del tamaño de la unidad.
11. Las razones de flujo de gas muy grandes pueden ser tratadas.
12. Los requisitos energéticos son bajos para flujo tratado. Por ejemplo: La actual potencia requerida para limpiar $500.00 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$ de gas al 95% de eficiencia, incluyendo la pérdida de tiro, es solamente 65 kilowatios aproximadamente.

Debo indicar que los precipitadores eléctricos no significan un remedio universal para los problemas de polución de Aire. En muchos casos, las desventajas pesan mas que las ventajas. Algunos de los inconvenientes son escritos a continuación:

1. El costo inicial es alto. En la mayoría de los casos la inversión es más grande que lo que es requerido por alguna otra forma de control de la Contaminación del Aire.
2. Los precipitadores no son fácilmente adaptables a condiciones variables.

El control automático de voltaje ayuda en gran medida, pero la mayoría de los precipitadores son eficientes cuando las condiciones de operación permanecen constantes.

3. Algunos materiales son extremadamente difíciles de recolectar en un precipitador eléctrico porque de ellos se derivan resistividades extremadamente altas o bajas, o por otras causas. En algunos casos, este factor solamente hace que el uso del precipitador eléctrico sea antieconómico, y no físicamente imposible.

4. Los requisitos de espacio a veces pueden ser más grandes que esos para un filtro de bolsas. En general, esto es verdad, solamente cuando la alta eficiencia de recolección es requerida para materiales difíciles por precipitación de recolección.
5. La precipitación eléctrica no es aplicable a la eliminación de materiales en la fase gaseosa.
6. El uso de un prelimpiador, generalmente del tipo ciclónico, debe ser requerido para reducir la carga de polvo sobre un precipitador.
7. Precauciones especiales son requeridas para garantía de seguridad del personal con relación al voltaje alto de operación.

En resumen podríamos decir que: la principal ventaja del precipitador eléctrico es la alta eficiencia colectora con un mínimo de costos de funcionamiento. Es el que exige menos energía de todos los colectores de gran eficiencia y el costo de mantenimiento es bajo por ser de acero, por funcionar en seco, por encima del punto de condensación.

Entre las ventajas adicionales está la gran precisión en cualquier eficiencia colectora necesaria desde el flujo máximo a cero.

Los inconvenientes especiales incluyen el costo elevado del aparato instalado. Sobre todo en los tamaños inferiores a 23500 ltrs/seg; la dudosa eficiencia colectora con determinados polvos de resistividad alta y la disminución de dicha eficiencia colectora cuando el flujo del gas es mayor del calculado para el modelo.

El uso de los precipitadores eléctricos en las industrias principales representativas es obvio en tablas 4-1 y 4-2.

4.3. SELECCION DEL OPTIMO

Con los conocimientos previos concebidos en 4-1 y 4-2 estamos en capacidad de emprender el siguiente paso: hacer una evaluación cualitativa del precipitador eléctrico óptimo aplicado a la "Industria del Cemento", para luego, en el siguiente capítulo iniciar la etapa de Ingeniería del diseño en planificación preliminar (anteproyecto).

Según el diagrama 2-3 el polvo de cemento se encuentra en el rango de tamaño de partícula con relación a su diámetro entre 3 y 100 μ , lo cual implica la aplicación de precipitadores eléctricos, que además garantizará la alta eficiencia de recolección requerida para la manufactura óptima en la industria del cemento.

Optimizando la localización del precipitador eléctrico en un punto crítico del proceso, es obvio en el sistema de escape de los hornos rotatorios sea en proceso seco o húmedo, porque es el punto de mayor concentración de polvo contaminante en los gases de escape que se requiere limpiar. Ahora bien, la selección del precipitador eléctrico óptimo para la Industria del cemento podemos pensar dentro del grupo principal de: "Precipitadores Eléctricos de alto voltaje y 1 etapa", porque es el de mayor aplicación y eficiencia de operación en los hornos del cemento. Dentro de este grupo existen en su diseño variaciones de forma en los electrodos de colección. Las dos especiales configuraciones de mayor aplicación son: a) Tipo de superficie plana

y b) Tipo de superficie tubular.

- a) Las partículas son colectadas sobre superficie plana, en "superficies paralelas de colección" espaciadas de 6 a 12 pulg. independientemente con los alambres electrodos de descarga e quidistantes entre las superficies.
- b) Las superficies de colección conectadas a tierra son, en cambio cilíndricas con los electrodos de descarga centrados a lo largo del eje longitudinal. Los diagramas 4-6 y 4-7 muestran las localizaciones de la superficie de colección y electrodo de descarga típico para ambos tipos de precipitadores electrostáticos de alto voltaje.

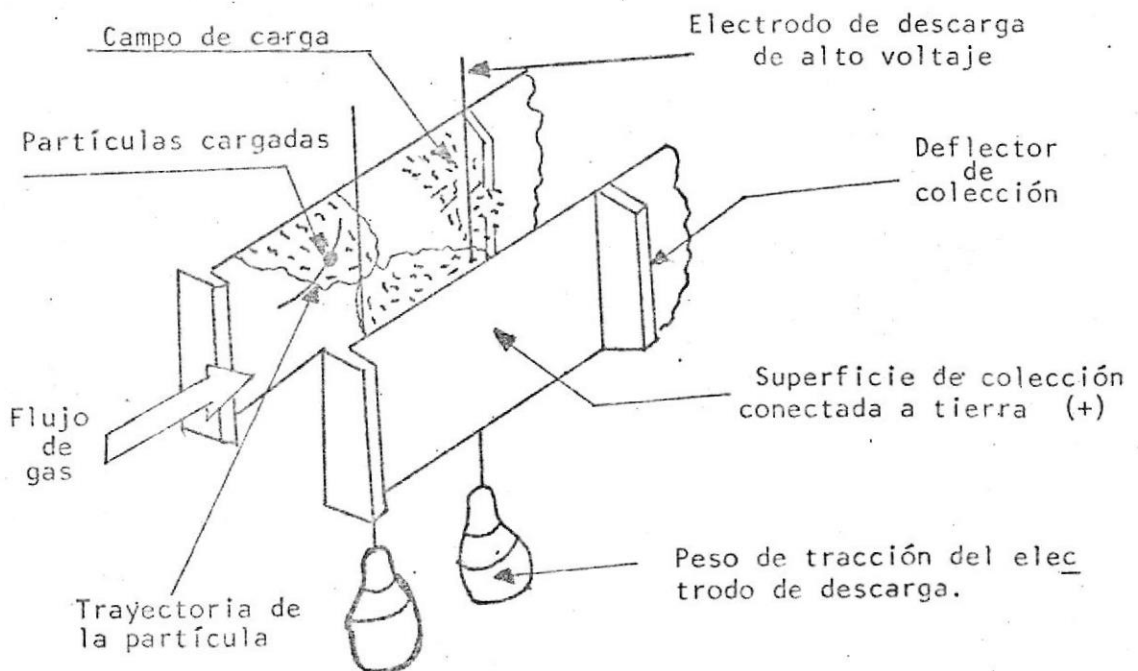


DIAGRAMA 4-6.- Vista esquemática de un precipitador electrostático tipo de superficie plana

Un precipitador completo consiste de muchas de estas unidades como se muestra en diagramas 4-1, 4-8. El diagrama 4-8 ilustra el caso aplicado para colectar las diminutas gotitas de

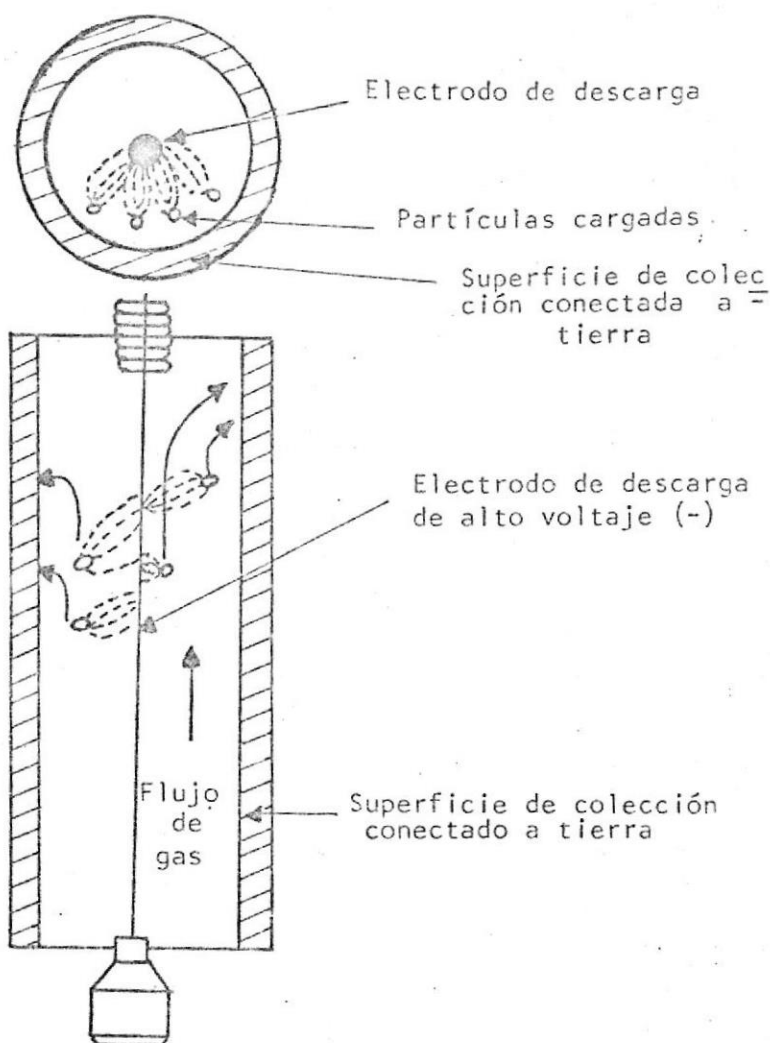


DIAGRAMA 4-7.- Vista esquemática del precipitador electrostático tipo de superficie tubular

ácido sulfúrico en suspensión, en gas o aire en una industria química. Otra de las aplicaciones especiales del tipo tubular es en hornos de fundición.

Según las estadísticas el diseño de mayor uso y recomendable por su alto grado de confiabilidad para el polvo contaminante saliendo de hornos del cemento es el de superficies planas de colección. Cabe indicar, como referencia que la Industria del cemento: "San Eduardo" de Guayaquil-Ecuador dispone de un precipitador eléctrico de alto voltaje con superficies planas de colección situado en el escape de los hornos rotatorios previo a la chimenea, controlando de esa manera el esca-

pe permisible de polvo.

Por lo tanto, técnicamente nos inclinamos para la selección del óptimo por este tipo referido. Otra posibilidad de variar en algo el diseño con relación a fijar el óptimo es en lo que respecta a la elección entre electrodos de colección húmedos o secos. Esta variación corresponde a la forma de operación del sistema de limpieza. En los primeros implica la formación de una película líquida y removimiento de sólidos con los consiguientes problemas de corrosión.

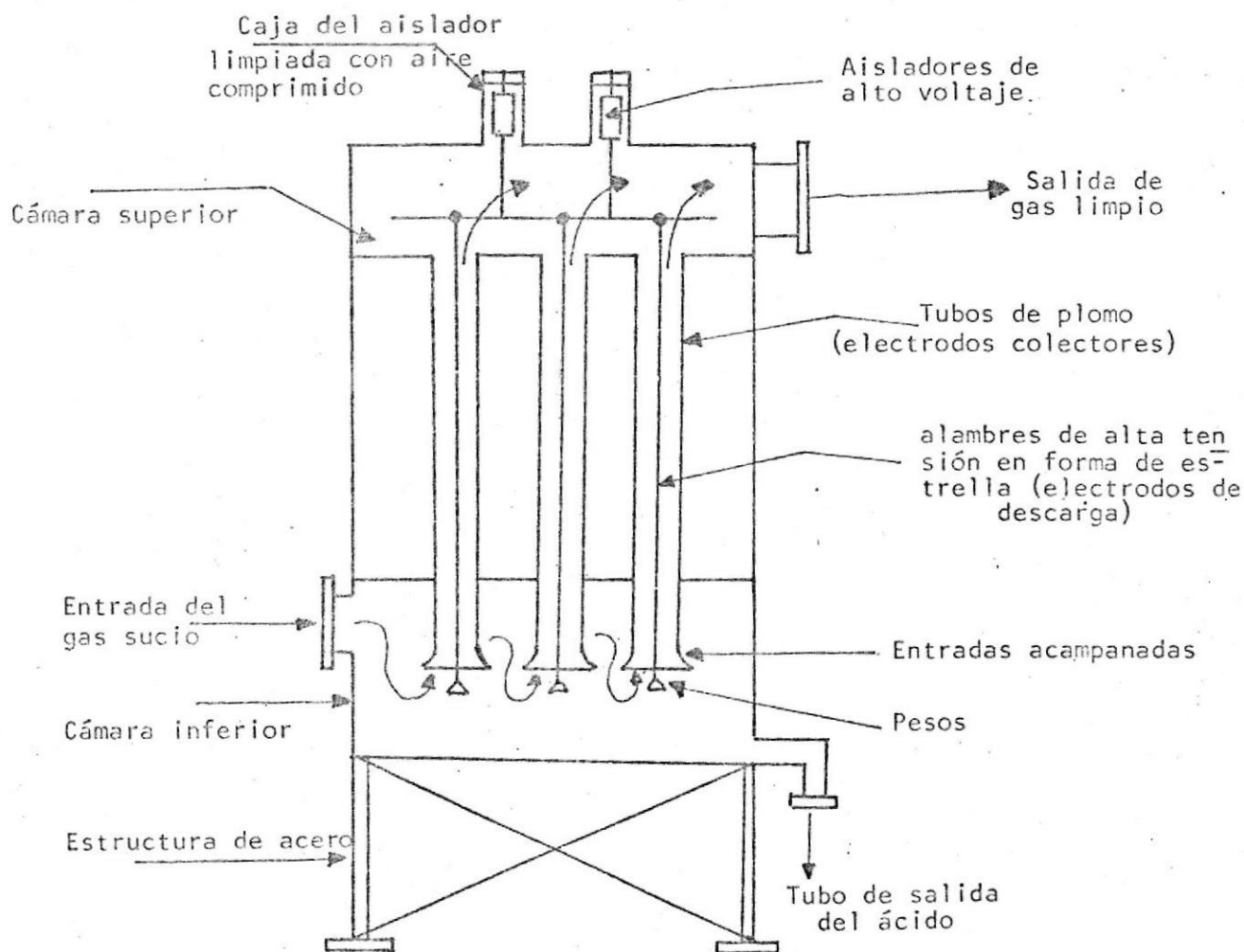


DIAGRAMA 4-8.- Precipitador de rocío ácido

Los segundos se relacionan con limpieza por soplado y vibración. Estos últimos son los más convenientes, puesto que el sistema de vibración nos lleva a una alta eficiencia de limpieza y, por lo tanto, de operación total del precipitador eléctrico.

En conclusión, el óptimo vamos a considerar: un precipitador electrostático industrial de alto voltaje - de una sola fase (en el que la carga y la precipitación del polvo se llevan a cabo en la misma sección) - con superficies planas de colección - y en modelo de placas secas con vibración como operación de desempolvamiento; como se puede observar exteriormente en el diagrama 4-1 donde los principales componentes son: Caja hermética que incluye las tolvas - sistemas de electrodos de descarga de alto voltaje - sistema de electrodos colectores conectados a tierra - Suministro de alto voltaje.

Los precipitadores grandes se dividen en muchas barras colectoras, como puede verse en el Diagrama 4-9.

Modelo que satisface condiciones óptimas de diseño como: Velocidad del gas apropiada para la precipitación del polvo - suministro óptimo de energía de alto voltaje - Desprendimiento por sacudidas periódicas sistematizadas - Montaje simplificado en el lugar de destino y - Capacidad de adaptación a condiciones futuras de funcionamiento y a reglamentos cada vez más estrictos.

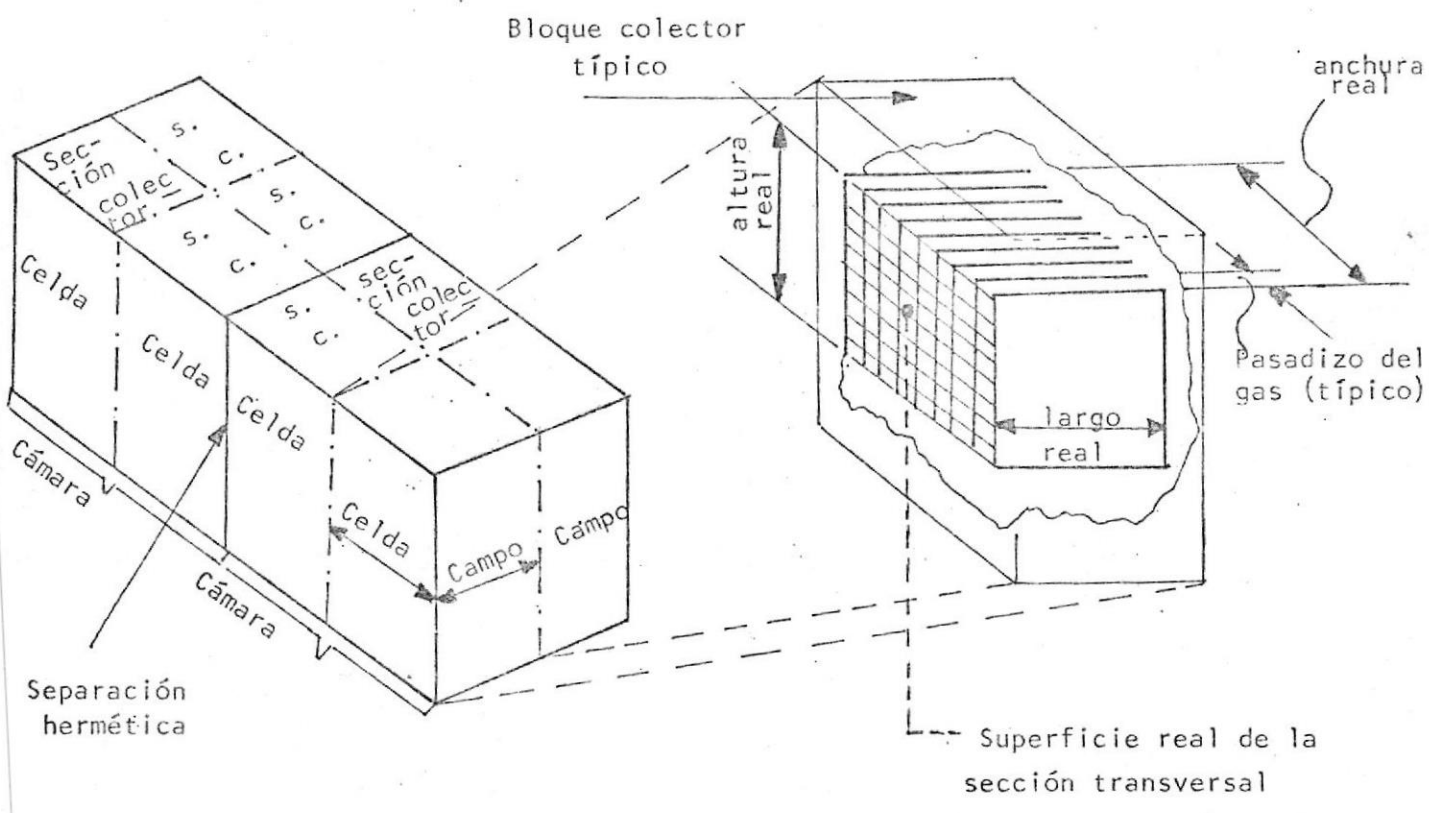


DIAGRAMA 4-9.- Arreglo de los bloques colectores

TABLA 4-1. DATOS TÍPICOS SOBRE LAS APLICACIONES DE LOS PRECIPITADORES ELECTRICOS

INDUSTRIA	APLICACION	RANGO DEL FLUJO DE GAS P.C.M.*	RANGO DE TEMPERATURA °F	RANGO DE CONCENTRACION DE POLVO GRANOS/pie ³	% EN PESO DEL POLVO ABAJO DE 10 μ	% DE EFICIENCIA USUAL
Generación eléctrica	Calderos quemando carbón pulverizado - ceniza fina.	50000 a 750000	270 a 600	0.4 a 5	25 a 75	95 a 98
Cemento portland	Polvo de hornos	50000 a 1 millon	300 a 750	0.5 a 15	35 a 75	85 a 99+
	Polvo de secadores	30000 a 100000	125 a 350	1 a 15	10 a 60	95 a 99
	Ventilación Industrial	2000 a 10000	50 a 125	5 a 25	35 a 75	95 a 99
Acero	Limpieza del gas de los hornos de fundición.	20000 a 100000	100 a 150	0.02 a 0.5	100	95 a 99
	Recolección de alquitrán de gases de horno de coquización.	50000 a 200000	100 a 150	0.10 a 1	100	95 a 99
	Recolección de humo de hornos Siemens-Martin y eléctrico.	30000 a 75000	300 a 700	0.05 a 3	95	90 a 99
Metales no ferrosos	Humo de hornos, calcinadores, máquinas de sinterización, recipientes de aluminio, etc.	5000 a 1 millon	150 a 1100	0.05 a 50	10 a 100	90 a 98
	Niebla de ácido.	Ver industria química				
Pulpa y papel	Recuperación en fábricas de pulpa Kraft de vapores de Sosa.	50000 a 200000	275 a 350	0.5 a 2	99	90 a 95
	Niebla ácida.	2500 a 20000	100 a 200	0.02 a 1	100	95 a 99
Química	Limpieza de H ₂ , CO ₂ , SO ₂ , etc.	5000 a 20000	70 a 200	0.01 a 1	100	90 a 99
	Separación de polvo del fosforo vaporizado.	2500 a 7500	500 a 600	0.01 a 1	30 a 85	99+
Petróleo	Recuperación en catalizador pulverizado.	50000 a 150000	350 a 550	0.10 a 25	50 a 75	99 a 99.9
Productos de roca	Magnesita, dolomita, asbestos, etc.	5000 a 200000	100 a 700	0.5 a 25	30 a 45	90 a 98
Gas	Alquitrán del gas	2000 a 50000	50 a 150	0.01 a 0.2	100	90 a 98

INDUSTRIA	APLICACION	RANGO DEL FLUJO DE GAS P.C.M.*	RANGO DE TEMPE- RATURA °F	RANGO DE CONCENTRA- CION DE POLVO Granos/pie ³	% EN PESO DEL POLVO ABAJO DE 10 _μ	% DE EFICIENCIA USUAL
Negro de humo	Recolección y aglomeración de negro de humo.	20000 a 150000	300 a 700	0.03 a 0.5	100	10 a 35**
Yeso	Polvo de Marmitas, trans- portadores, etc.	5000 a 20000	250 a 350	1.5 a 5	95	90 a 98

*P.C.M. = Pies cúbicos por minuto

**El precipitador sirve principalmente para aglomerar las partículas. La mayor parte de la recolección ocurre en el ciclón que al precipitador antecede.

T A B L A 4-2. OPERACIONES INDUSTRIALES DE LOS PRECIPITADORES DE 2 ETAPAS.

FUENTE CONTAMINANTE	TIPO DE CONTAMINANTE	VOLTAJE DE IONIZACION	Nº DE CELDAS IONIZADORAS	VOLTAJE DEL COLECTOR	% DE EFICIENCIA	VELOCIDAD P.P.M.*	CONCENT. DE ENTRADA <u>Granos</u> p.c.s.	OBSERVACIONES
Rectificador de herramientas.	Aerosol de aceite	13000	1	6500	90	333	-	Recomendación de manufactura.
Incinerador	Humo de maderas grasas vaporizadas.	13000	2	6500	90	60	0.103	Humedecido y pre-limpado 10 - milipulgadas de alambres de descarga.
Incinerador	Humo de maderas grasas vaporizadas.	10000	1	5000	50	50	0.181	Alambres ionizadores a 1 1/2 pulgada espaciados, con poca distribución de aire.
Galvanización	Aerosol de Aceite-Vapor de NH ₄ CL	14200	2	7000	91	60	0.154	2º ionizador, 1 1/2 pulgada espaciado y 15 milipulgadas de alambre.
Preparación de grasa concentrada.	Aerosol de grasa	13000	2	6500	75	68	—	Humedecido y pre-limpado.
Saturador de asfalto.	Aerosol de aceite.	12000	1	6000	85	145	0.384	Humedecido y pre-limpado.
Mezclador tipo Mueller	Resina fenol-formaldehido.	13000	1	6500	87	75	0.049	Olor no conveniente, debe ser reducido.

* P.P.M. = Pies por minuto.

CAPITULO 5

INGENIERIA DEL DISEÑO

5.1. SELECCION DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA

El criterio de selección, de la capacidad del precipitador electrostático para la industria del cemento considerado en el Cap. anterior, se hará en virtud de simulaciones hipotéticas representativas de una aplicación industrial general de nuestro país, ajustándose a códigos nacionales de calidad del aire y a tipo "Modelo Experimental" para satisfacer requisitos de estudios preliminares (ante proyecto).

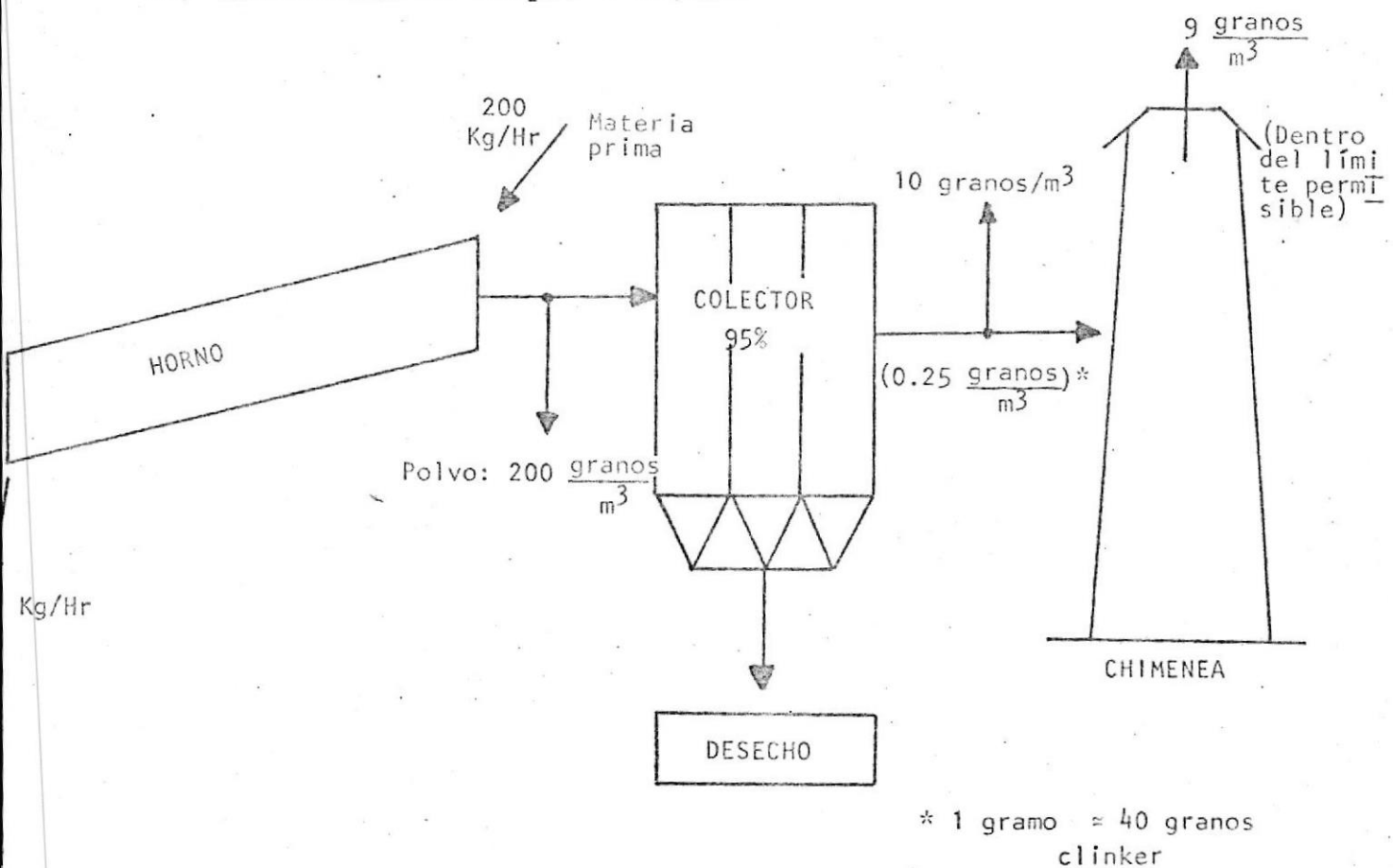
5.1.1. Planteamiento del Problema

Se desea diseñar un modelo de precipitador eléctrico de alto voltaje, de una sola etapa, con placas secas de recolección del polvo y vibración como operación de limpieza. Con una eficiencia requerida del 95% para limpiar un flujo de gas de 30 m³/min. (metros cúbicos por minuto) provenientes de un horno rotatorio de producción de clinker con proceso seco en planta piloto, de acuerdo a un estandar de emisión de partículas para los hornos máximo de 0.15 Kg/tonelada métrica de alimentación durante 2 horas y un estandar de opacidad máximo de 10% con un promedio anual de partículas en suspensión de 80 µg/m³ en la atmósfera.

5.1.2. Datos y Condiciones del Diseño

- 1) Producción total del horno (planta piloto): 130 Kg/hr (clinker).
- 2) Temperatura del gas, que sale del horno rotatorio con proceso en seco, y entrando al sistema: 200°C.
- 3) Presión del gas: 8 Kg/cm² abs.
- 4) % de polvo del horno alimentado: 3

- 5) Concentración de polvo (carga de polvo al colector): 200 granos/m³.
- 6) Promedio estadístico del tamaño de la partícula de polvo de cemento (clinker): diámetro 5 μ
- 7) Análisis de la composición del material particulado: 31 % polvo - 69% humo (sólida - corrosiva).
- 8) Velocidad del gas en el ducto de entrada: 24 m/seg.
- 9) Pérdida de presión a través del precipitador: 8 cm H₂O
- 10) Voltaje Pico: 40 KV.
- 11) Corriente de la corona de descarga: 16 MA/mt.
- 12) Intensidad de campo: 4 KV/cm.



(Resultados Experimentales equivalentes)

DIAGRAMA 5-1.- Dibujo Esquemático del sistema a diseñarse - Sin retorno del polvo

5.2. DISEÑO Y CALCULO DE LA ENTRADA DE GAS

Uno de los criterios esenciales de una buena instalación de un precipitador eléctrico es "el buen control del flujo del gas". La velocidad de los gases en los canales de humos (ver diagrama 5.2) son del orden de varias veces mas alta que la velocidad adecuada para la precipitación.

El problema doble consiste en reducir la velocidad del gas de 24 m/seg. a 5:1 requerida y repartir por igual los 30 m³ en los pasadizos paralelos para el gas.

Esta reducción de la velocidad y división del flujo del gas se logra principalmente con un diseño cuidadoso de los sistemas conectores del flujo de los gases desprendidos y con placas perforadas ensambladas en la entrada del precipitador. En el interior del sistema de tuberías de humos se instalan dispositivos de control como tabiques divisores, placas desviadoras de distribución, placas perforadas y tolvas de sedimentación.

Cuando no se puede controlar bien el flujo del gas, se forman muchos remolinos y puntos de gran velocidad del gas, que reducen mucho la eficiencia colectora del precipitador, como lo muestra el diagrama 5.2.

El diseño de la entrada del gas consiste básicamente de los canales de humos, tabiques desviadores de distribución, y las rejillas de difusión, según el diagrama 5-3.

Canales de humos.- Si llamamos:

Q = Flujo de gas = 30 m³/min

V_c = Velocidad en los canales de humos = 24 m/seg.

A_e = Area efectiva del flujo

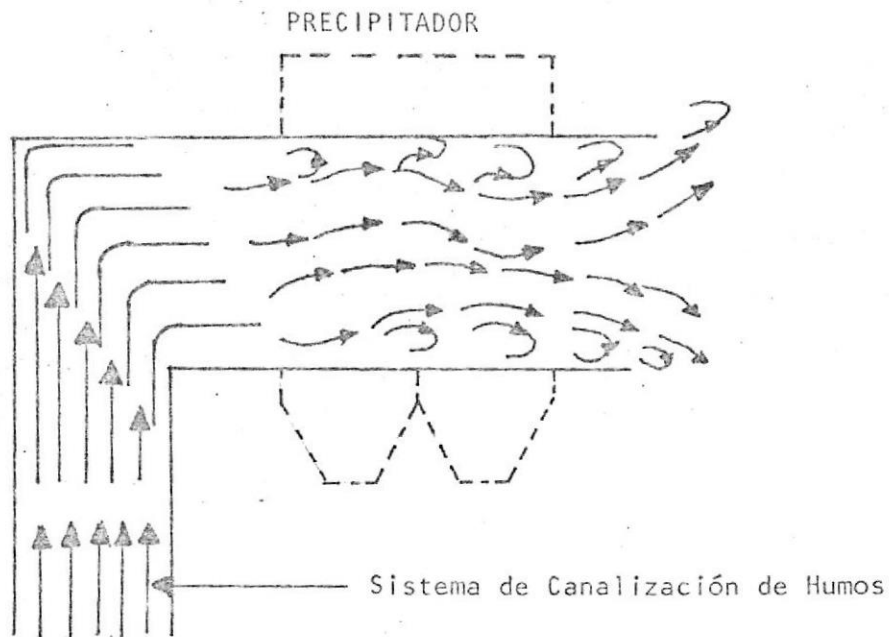


DIAGRAMA 5-2.

ρ = Densidad del gas

(5.2.1) $Q = AV$ {Ecuación de continuidad para un flujo permanente e incompresible ($\rho = \text{cte}$)}

En la transmisión del flujo de gas a través de los canales de humos suponemos gas ideal y con variación de la densidad que tiende a cero. Es decir $\rho = f(T, P)$:

T = Temperatura del gas = 200°C \sim se mantiene constante.

P = Presión del gas = 8 Kg/cm^2 \sim tiene pequeñísimos gradientes.

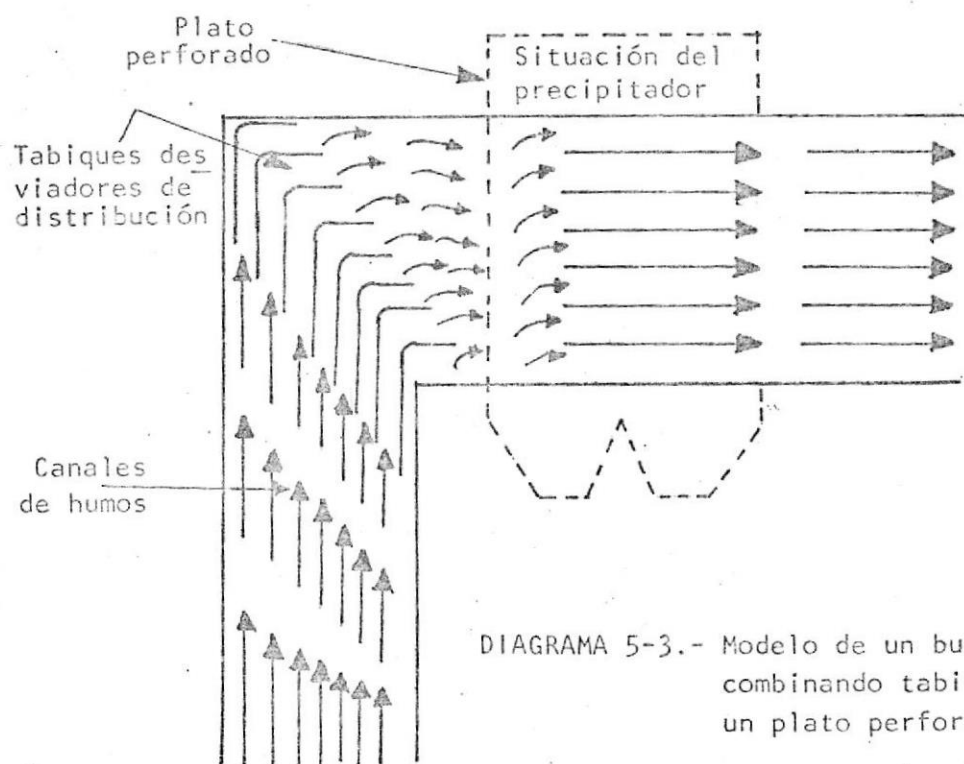
$$A_e = \frac{Q}{V_c} = \frac{30 \text{ m}^3/\text{min.}}{(24 \times 60) \frac{\text{m}}{\text{min.}}} = 2.08 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \times \left(\frac{10^4 \text{ cm}^2}{\text{m}^2} \right)$$

$A_e = 208 \text{ cm}^2$ repartidos en un número y forma de canales conveniente, de acuerdo al múltiple de escape proveniente del horno rotatorio.

Si: n = Número de canales = 5 (recomendado por experiencias profesionales en estudio de modelos).

A_t = Area de flujo en un canal

D_c = Diámetro del canal (semicircular)



$$\therefore (5.2.2) \quad A_t = \frac{A_e}{\eta} = \frac{208 \text{ cm}^2}{5} = 41.6 \text{ cm}^2$$

$$\text{y } (5.2.3) \quad A_t = \frac{\pi D_c^2}{4} \quad \therefore D_c^2 = \frac{4A_t}{\pi} = \frac{4 \times 41.6}{\pi} \text{ cm}^2$$

$$D_c = 7.3 \text{ cm.}$$

Tabiques de giro de flujo.- Idealmente los tabiques tendrán forma de línea de flujo, esto es, ellos serán más gruesos en el centro y delgados en los extremos. El espacio cerrado de los tabiques es esencial para proveer suficiente superficie de contacto con el gas para impartir el necesario cambio del vector en cantidad de movimiento sin inducción de turbulencia impropia.

La comparación entre tabiques amplia y cerradamente espaciados es mostrado en diagrama 5-4.

Los tabiques cerradamente espaciados hacen un trabajo casi

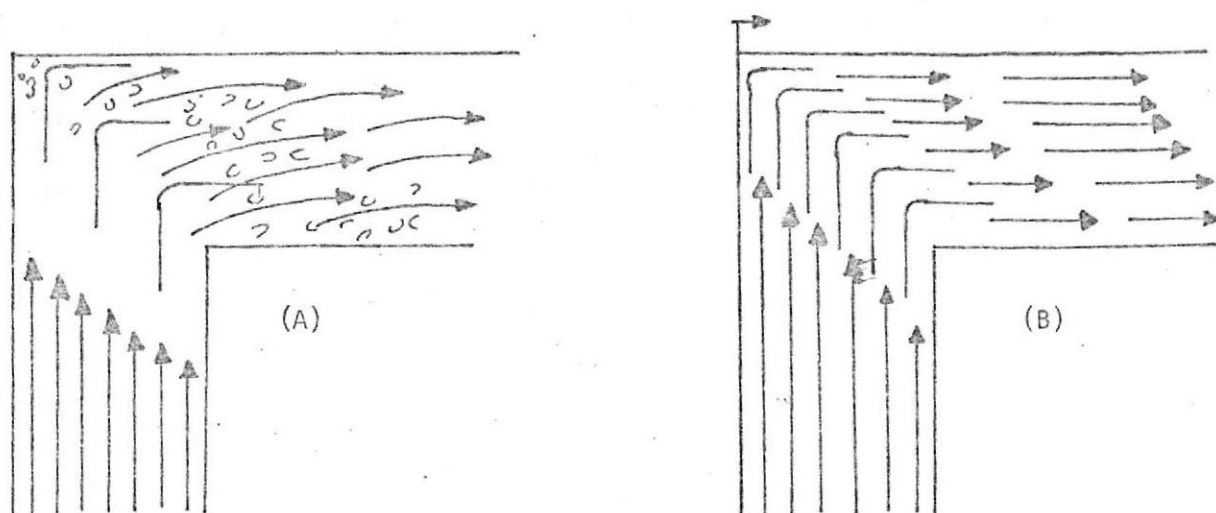


DIAGRAMA 5-4.- Comparación de la acción de tabiques amplia y cerradamente espaciados

perfecto de deflexión del gas sin producir separación y turbulencia en el flujo. La caída de presión provee una indicación cuantitativa confiable de la efectividad total de los tabiques de giro. El uso de un sistema de tabiques de deflexión de un flujo en transición a 90° , mostrado en Diagrama 5-4 B), reducirá la caída de presión a solamente de 0.1 a 0.2 el cabezal de velocidad.

Los tabiques frecuentemente son usados en giros de expansión, ilustrado en diagrama 5-2, sobre la teoría que la deflexión y la desaceleración del gas puede ser acompañada simultáneamente por esta configuración.

A continuación calcularemos las fuerzas que se ejercen sobre los tabiques con relación a la selección del material compatible con la resistencia a la fatiga, según diagrama 5-5.

Sabemos que: $Q = \frac{30 \text{ m}^3}{\text{min.}}$, serán distribuidos en 10 tabiques

(Recomendación: por relación de 2:1 entre canales de humos y tabiques).

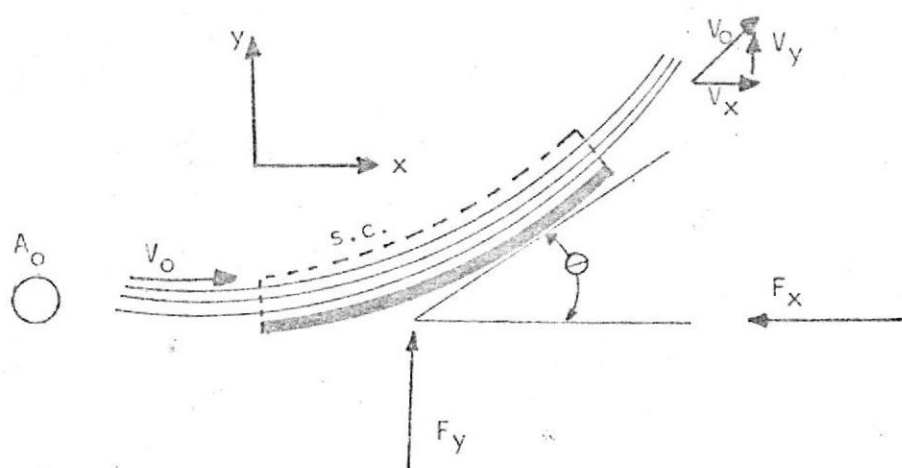


DIAGRAMA 5-5

$$q = \text{flujo por tabique} \quad (5.2.4) \quad q = \frac{Q}{10} = \frac{3 \text{ m}^3}{\text{min.}}$$

$$F_x = \rho q (V_0 \cos \theta - V_0) \quad (5.2.5)$$

$$F_y = \rho q V_0 \sin \theta \quad (5.2.6)$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$V_0 = 24 \frac{\text{m}}{\text{seg.}}$$

$\rho_{\text{gas}} \rightarrow \text{Gas} = \text{Polvo} + \text{Productos de combustión (básicamente)}$

Polvo: 31%

Prod. Combustión: 69% = P.C.

$\rho_{\text{polvo}} = 102 \frac{\text{UTM}}{\text{m}^3}$ Determinado experimentalmente por métodos con y sin compactación respectivamente en una muestra típica, donde:

$$\rho_{\text{polvo}} = 51 \frac{\text{UTM}}{\text{m}^3} \quad \gamma = \text{peso específico del clinker} \\ = 10^3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ en condiciones normales}$$

y compactación.

$$\rho_{\text{p.c.}} = \frac{P}{RT} \quad (5.2.7)$$

$$P = 8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$T = 200^\circ\text{C} = 473^\circ\text{K}$$

$$*R_{\text{CO}} = 30.3 \frac{\text{MKg}}{\text{Kg m}^\circ\text{K}}$$

$$\rho_{(co)} = \frac{8 \times 10^4 \frac{Kg}{m^2}}{(30.3 \frac{MKg}{Kgm \text{ } ^\circ K}) (473^\circ K)} \quad *(Ver Cap. 10)$$

$$\therefore \rho_{co} = (5.58 \frac{Kgm}{m^3}) \left(\frac{1 UTM}{9.8 Kgm} \right) \text{ y } \rho_{p.c.} = 0.57 \frac{UTM}{m^3}$$

$$(5.2.8) \quad \rho_{gas} \approx \frac{1}{2} \left[0.31 \rho_{polvo} + 0.69 \rho_{p.c.} \right]$$

$$\rho_{gas} \approx \frac{1}{2} \left[0.31 (5.1) + 0.69 (0.57) \right]; \quad \rho_{polvo} \approx 5.1 \frac{UTM}{m^3}$$

(en el flujo)

$$\therefore \rho_{gas} \approx 0.98 \frac{UTM}{m^3}$$

$$\text{Como referencia: } \rho_{aire} = \frac{P}{RT} = \frac{8 \times 10^4}{(29.3) (473)} = 5.75 \frac{Kgm}{m^3}$$

$$R_{aire} = 29.3 \frac{mKg}{(Kgm) \text{ } ^\circ K} \quad \therefore \rho_{aire} = 0.586 \frac{UTM}{m^3}$$

Entonces:

$$F_x = - \left(0.98 \frac{UTM}{m^3} \right) \left(\frac{3 m^3}{60 \text{ seg.}} \right) \left[\left(24 \frac{m}{\text{seg.}} \right) \cos 90^\circ - \left(24 \frac{m}{\text{seg.}} \right) \right]$$

$$F_x = + (0.98) \left(\frac{3}{60} \right) [24] \text{ UTM} \times \frac{m}{\text{seg}^2}$$

$$F_x = 1.18 \text{ Kg}_f$$

$$F_y = (0.98) \left(\frac{3}{60} \right) [24] \text{ Sen } 90^\circ$$

$F_y = 1.18 \text{ Kg}_f$. . Las componentes de la fuerza sobre el tabique fijo son iguales y opuestas a F_x y F_y .

Rejillas de Difusión.- Estas son una herramienta vital en la tecnología del flujo de gas. Principalmente, la función de ellas es

como dispositivos de gran efectividad para reducir turbulencia y mejorar uniformidad del flujo, pero también pueden ser diseñadas para deflectar o cambiar la dirección del flujo.

La instalación de rejillas de difusión origina un decremento substancial en la caída de presión en un sistema de flujo de gas. Por consiguiente el examen de los fundamentos de operación es un prelude esencial para comprender la aplicación de los difusores al flujo de gas y al diseño del precipitador.

Básicamente, un plato difusor o rejilla puede ser observado como un plato delgado o una rejilla tejida, usualmente plana en su forma con un modelo periódico de agujeros relativamente pequeños formados por perforaciones en un plato o la malla abierta en una rejilla.

La fracción del área de flujo bloqueada por la rejilla es definida como la "Solidez = S". Una solidez de $S = 0.25$, por ejemplo, significa 25% bloqueada, o 75% abierta.

El diagrama 5.6 muestra el flujo a través de cada uno de los agujeros pequeños que produce un chorro de gas localizado sobre el lado posterior del difusor.

El efecto es uno de difusión turbulenta localizada en el límite del chorro y una gradual desaceleración del flujo principal, como se indica en los perfiles de velocidad en el diagrama, objetivo primordial de nuestra aplicación: La reducción de la velocidad de 5:1.

La caída de presión ΔP a través de un difusor puede ser calculado aproximadamente de la Ecuación de Bernoulli:

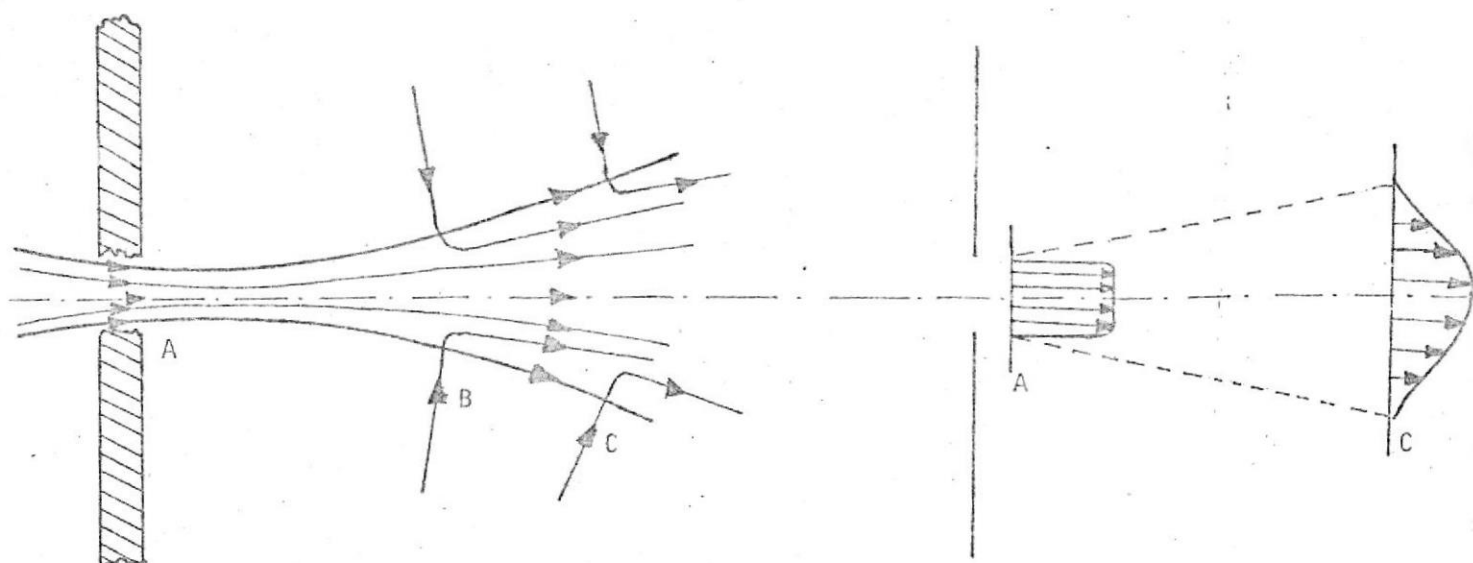


DIAGRAMA 5-6.- Chorro de gas localizado producido por un plato difusor

$$\frac{1}{2} \rho U_0^2 + P_0 = \frac{1}{2} \rho U_1^2 + P_1 \quad (5.2.9)$$

Donde (U_0, P_0) son la velocidad y la presión del gas sobre el lado aguas arriba del difusor y (U_1, P_1) son los valores aguas abajo.

Entonces:

$$\Delta P = P_0 - P_1 = \frac{1}{2} \rho (U_1^2 - U_0^2) \quad (5.2.10)$$

Pero del principio de continuidad: $A_0 U_0 = A_1 U_1$

$$\text{o} \quad U_1 = \frac{A_0}{A_1} U_0 = \frac{U_0}{c(1-s)} \quad (5.2.11)$$

Donde $C =$ es el coeficiente de contracción para la vena contracta de la abertura.

Combinando estas ecuaciones, la expresión para ΔP será:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho U_0^2 \left[\frac{1}{c^2(1-s)^2} - 1 \right] \quad (5.2.12)$$

Es conveniente introducir un coeficiente K adimensional para la

caída de presión, que se define así:

$$K = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho U_0^2} = \frac{1 - c^2 (1 - S)^2}{c^2 (1 - S)^2} \quad (5.2.13)$$

Experimentalmente se demuestra que K es aproximadamente constante, para una solidez dada, sobre un rango del N^o de Reynolds, donde R_e es calculado por la ecuación:

$$R_e = \frac{U_0 \delta}{\nu (1-S)} \quad (5.2.14)$$

ν = Viscosidad cinemática del gas

δ = Tamaño del agujero

La corrección de las distribuciones de la velocidad no uniforme por los difusores puede ser estimada en varias formas. Las irregularidades de la velocidad pueden ocurrir no solamente axial a lo largo del flujo, también transversalmente al eje del flujo.

Las rejillas difusoras tienden a corregir ambas de estas irregularidades.

Hagamos (U_0, V_0) los valores aguas arriba de la alteración de la velocidad y (U_1, V_1) los correspondientes valores aguas a bajo. Entonces, se define los coeficientes de corrección como:

$$f = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_0} \quad \alpha = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_0} \quad (5.2.15)$$

Taylor y Batchelor (científicos Norteamericanos) han derivado la siguiente expresión para f aplicable a rejillas de difusión de alambre redondo y a desviaciones de la velocidad relativamente pequeñas:

$$f = \frac{1 + \alpha (1 - K)}{1 + \alpha + K} \quad (5.2.16)$$

Schubauer y otros encontraron empíricamente que para $0.7 < K < 4$, α puede ser expresada como:

$$\alpha = 1.1 (1 + K)^{-1/2} \quad (5.2.17)$$

Los valores óptimos de K y S ocurren cuando $f = 0$, lo cual corresponde a la eliminación completa de las fluctuaciones de la velocidad.

Resolviendo (5.2.16) y (5.2.17) para K con $f = 0$ nos da:

$$K = 1 + \frac{1}{\alpha} = 1 + \sqrt{(1 + K)/1.1}$$

$$\therefore (K-1)^2 = \left(\frac{1+K}{1.1}\right) \rightarrow 1.1 K^2 - 3.2 K + 0.1 = 0$$

$$\therefore K = \frac{3.2 \pm \sqrt{(-3.2)^2 - 4(1.1)(0.1)}}{2(1.1)} \quad K_{1,2} = \begin{cases} 2.88 \\ 3.64 \times 10^{-2} \end{cases}$$

K_2 descartado por estar fuera del rango permisible.

$$\therefore K = 2.88$$

El valor correspondiente de S es encontrado de (5.2.13)

$$K = \frac{[1 - c^2 (1 - S)^2]}{c^2 (1 - S)^2} \quad \text{para } K = 2.88$$

$c = 0.90$ parámetro conocido para este tipo de flujo en aberturas.

$$\text{Reemplazando: } 2.88 = \frac{1 - (0.9)^2 (1 - S)^2}{(0.9)^2 (1 - S)^2}$$

$$\therefore S = 0.435 \approx 0.44 \quad \text{o a una rejilla difusor } 56\% \text{ abierto.}$$

Aquí S debe ser interpretado como la solidez efectiva, tomando en cuenta el efecto de la vena contracta. La solidez geométrica será entonces algo más pequeño que 0.44, del orden de 0.35 a 0.40 o a una rejilla 60% \rightarrow 65% abierta.

Tomamos el valor promedio $S = 0.38$ parámetro definitivo de diseño. Los difusores usados en la práctica de la precipitación eléctrica generalmente toman la forma de platos perforados con agujeros del orden de 1.5 a 5 cm. en su diámetro.

Por consiguiente diseñamos para nuestro modelo, la entrada al precipitador: plato perforado de 1.5 cm. de diámetro de los agujeros en un espacio libre del 62%.

Para desacelerar el gas en la relación 5:1 requerida, manteniendo un flujo uniforme razonable y mínima turbulencia, la práctica (sugerida en manuales) implica un arreglo en serie de 2 platos de difusión con las mismas especificaciones técnicas del diseño. Para ilustrar el sistema ver diagrama 5.7

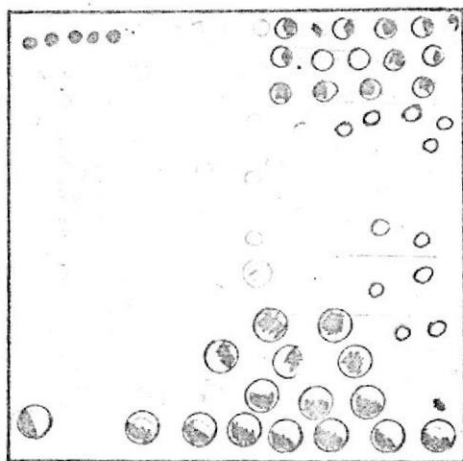


DIAGRAMA 5.7.- Fotografía de depósitos de polvo y obturación parcial del plato perforado de distribución del gas en la entrada de un gran precipitador. También es visible la acumulación de polvo sobre el piso del ducto de entrada.

5.3. CALCULO Y DISEÑO DE LOS ELECTRODOS DE DESCARGA Y ESTRUCTURAS DE SOPORTE

Cada precipitador contiene uno o mas campos de descarga de alto voltaje que se excitan individualmente. Estos campos están eléctricamente aislados del resto del precipitador, ordenados -

formando módulos que corresponden a los módulos de los electrodos colectores y colocados de tal forma que los alambres de descarga cuelgan precisamente a lo largo de la línea media de los pasadizos del gas.

El sistema de electrodos de descarga de alto voltaje, constan de: Barra colectora hueca de alto voltaje - un aislador soporte del canal alimentador - Un aislador de la bobina de inducción - Tres aisladores de soportes de tensión - Alambres de descarga eléctrica - Rejilla superior de soporte - Rejilla inferior de alineamiento - Tensores del peso.

Cabe indicar que, el número, tipo, tamaño, y espacio de los electrodos de descarga requerido depende de la aplicación y rendimiento deseado.

Existen varios tipos de electrodos de descarga (Diagrama 5.8) de los cuales seleccionamos el redondo por ser el óptimo en nuestro modelo de placas secas para la aplicación indicada.

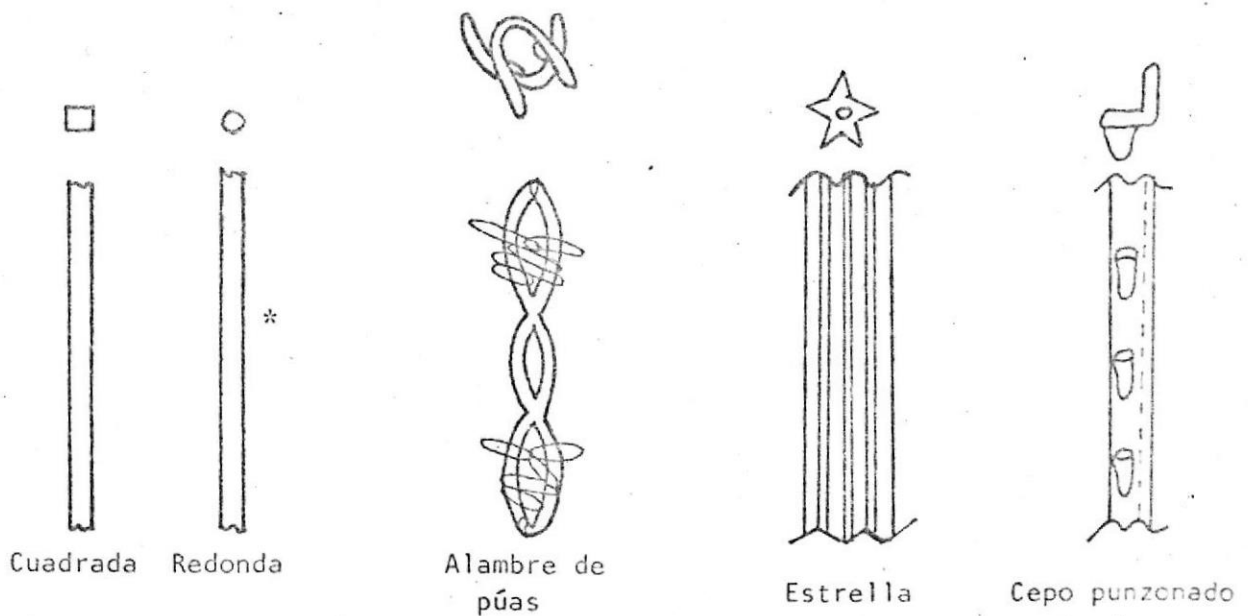


DIAGRAMA 5-8.- Electrodo de descarga aplicables a un precipitador electrostático

Cuando se usan los alambres redondos, el diámetro usualmente es de 0.2 cm. aproximadamente, aunque puede variar de 0.05 cm. a 0.3 cm., el cálculo posterior de acuerdo a las condiciones de diseño nos dará el tamaño exacto, para el modelo.

Electrodos de Ducto.- Debido a la geometría compleja, las ecuaciones teóricas corriente - voltaje para electrodos de ducto - son mas difíciles de derivar que para electrodos cilíndricos. (Mayores detalles ver Apéndice Cap. 10) y (Diagrama 5.9).

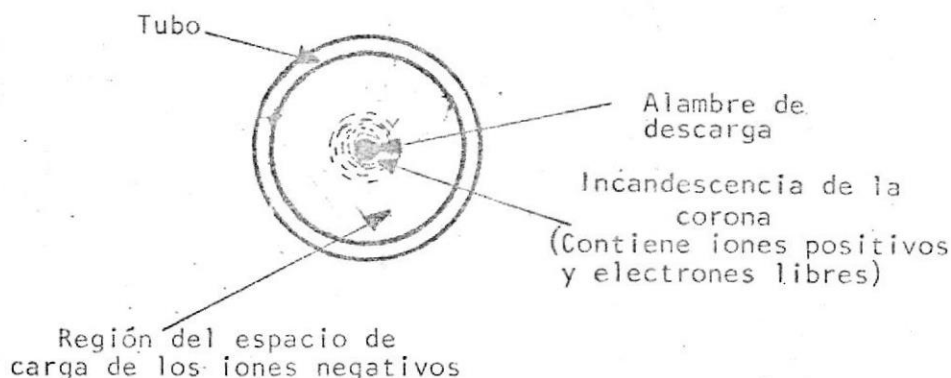


DIAGRAMA 5-9.- Dibujo esquemático de las zonas activa y pasiva de la corona de descarga

El análisis puede ser hecho solamente a través de métodos iterativos o aproximados. Sin embargo, es posible calcular el campo electrostático para electrodos de ducto cuando la corona está ausente. Además, este cálculo puede ser verificado por la teoría de la perturbación que sirve como una primera aproximación para corrientes pequeñas de la corona. También ha sido posible derivar una Ecuación explícita para el voltaje de arranque de la corona para ductos, con resultados algo similares a los obtenidos con cilindros concéntricos.

Refiriendo al diagrama 5.10, la distribución de potencial entre los alambres y platos puede ser calculado por los métodos de electrostática los cuales, en este caso, implica el uso de

variables complejas y representación conforme.

Los detalles de este cálculo son grandes y son omitidos. El potencial puede ser expresado en series infinitas como sigue:

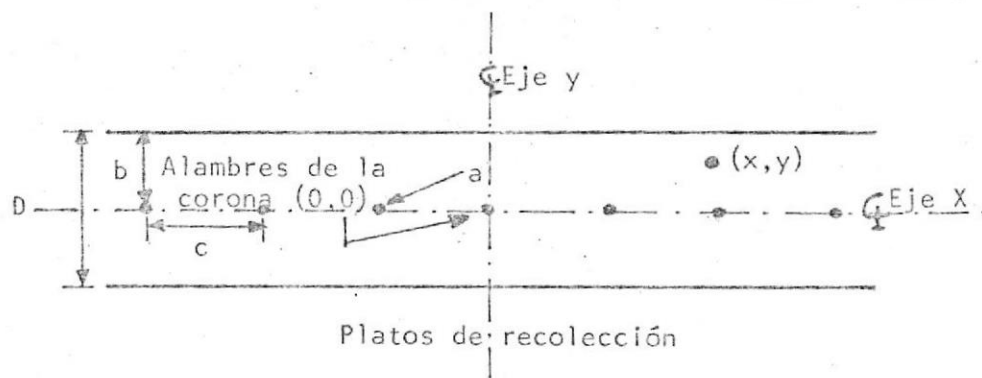


DIAGRAMA 5-10.- Arreglo de un electrodo de ducto

5.3.1.

$$V(x,y) = -\lambda \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \text{Log} \frac{\text{Cosh} \left[\frac{2\pi(x-mc)/b}{2\pi(x-mc)/b} \right] - \text{Cos} (2\pi y/b)}{\text{Cosh} \left[\frac{2\pi(x-mc)/b}{2\pi(x-mc)/b} \right] + \text{Cos} (2\pi y/b)}$$

donde λ es un parámetro definido por

$$5.3.2. V(0,0) = -\lambda \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \text{Log} \frac{\text{Cosh} (2\pi mc/b) - \text{Cos} (2\pi a/b)}{\text{Cosh} (2\pi mc/b) + \text{Cos} (2\pi a/b)}$$

En estas ecuaciones $V(x,y)$ es el potencial en el punto (x,y) como se muestra en diagrama 5.10 y $V(0,0)$ es el voltaje total entre los alambres y platos.

Aquí a es el radio del alambre de la corona, b es el espacio de alambre a plato y C es el espacio de alambre a alambre.

Estas ecuaciones son usadas para calcular la distribución de potencial representado en el diagrama 5.11 ilustrado para el caso de un ducto de 20 cm. (distancia de plato a plato) con un diámetro de 0.37 cm. de los alambres de la corona separados 15 cm. entre sí y en el diagrama 5.12 para el mismo ducto pero con los alambres espaciados 7.5 cm.

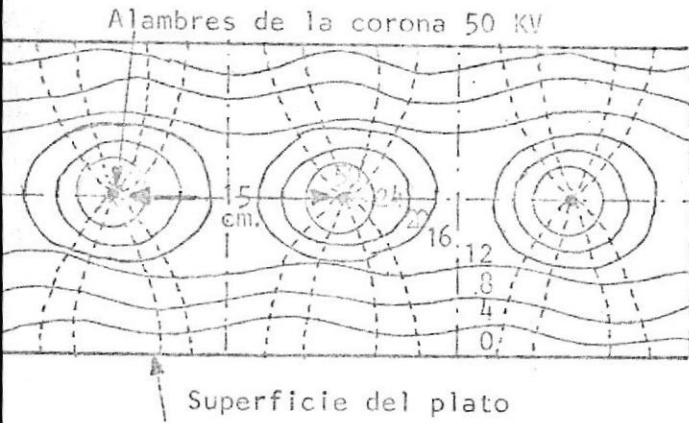


DIAGRAMA 5-11.- Distribución del potencial en un ducto de 20 cm. con 15 cm. de espacio alambre-alambre

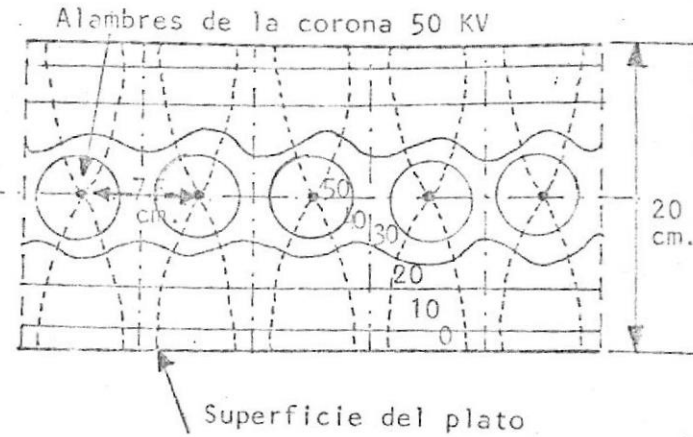


DIAGRAMA 5-12.- Distribución del potencial en un ducto de 20 cm. con 7.5 cm. de espacio alambre-alambre

Es evidente que el gradiente de potencial es observablemente uniforme cerca de las superficies del plato en ambos casos, aunque el campo es substancialmente más grande para el espacio de 7.5 cm. de alambre. Los valores de la intensidad de campo tomados son 2.5 KV/cm. para el espacio de 15 cm. de alambre y 4 KV/cm. para el caso de 7.5 cm.

Las variables de diseño para los electrodos de descarga, de nuestro modelo son:

- Diámetro y longitud de los alambres
- Número de alambres por ducto
- Espacio de alambre a alambre
- Espacio de alambres a platos

$$5.3.3. A) E_0 = 30 \delta + 9 \sqrt{\delta/a} \quad \frac{\text{KV}}{\text{cm.}}$$

[Fórmula semiempírica de Peek para alambres redondos en línea recta]

donde:

E_0 = Intensidad de Campo en la corona

δ = Densidad relativa del flujo

5.3.4.

$$\delta = \frac{T_0}{T} \cdot \frac{P}{P_0}$$

a = Radio de los alambres de la corona

(T_0, P_0) = Condiciones normales de temperatura y presión absolutos del aire.

(T, P) = Condiciones de temperatura y presión absolutos locales del flujo.

$$T_0 = 293^\circ\text{K}$$

$$P_0 = 1.033 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\therefore \delta = \frac{293^\circ\text{K}}{473^\circ\text{K}} \cdot \frac{8 \text{ Kg/cm}^2}{1.033 \text{ Kg/cm}^2} \quad T = 473^\circ\text{K} \quad \text{despreciando} \quad \nabla(T, P) \approx 0$$

$$P = 8 \text{ Kg/cm}^2 \quad (\text{gradiente} \rightarrow 0)$$

$$\delta = 4.8$$

Reemplazando en (5.3.3) con $E_0 = 4 \frac{\text{KV}}{\text{cm}}$ (Condición de diseño)

$$4 = (30)(4.8) + 9 \sqrt{4.8/a} \quad \therefore a = 3 \times 10^{-2} \text{ cm} = 0.03 \text{ cm.}$$

$\therefore a \approx 0.05 \text{ cm.}$ Por razones prácticas, considerando un factor de rugosidad

Si ϕ = diámetro del alambre $\therefore \phi = 0.1 \text{ cm.} = 1 \text{ mm.}$

Si llamamos L_C = longitud de los alambres de la corona

L_C = (altura real de los platos + 30% (distribuidos uniformemente de recolección del polvo) en la parte superior e inferior con referencia a los platos, previo al acoplamiento con las estructuras de soporte).

5.3.5.

$$\therefore L_C = h + \Delta h$$

Expresión estimada para casos prácticos.

Como la altura real de las placas es una variable de diseño a tratarse en el siguiente inciso, por lo tanto, este parámetro L_C se calculará posteriormente.

B) Para determinar este parámetro consideramos el diagrama 5.13

obtenido experimentalmente para una situación equivalente. Entonces, de acuerdo a las condiciones de diseño, tomamos el voltaje pico de 40 KV y $16 \frac{\text{MA}}{\text{MT}}$ de corriente en la corona, lo cual nos da según la curva 5 alambres por ducto aproximadamente, que se ajusta a los casos prácticos normalmente usados en la precipitación eléctrica.

C) El diseño de C = espacio de alambre a alambre lo hacemos

de acuerdo a diagrama 5.14 obtenido en las mismas condiciones anteriores. Conforme a los datos de diseño de corriente y voltaje e interpolando la curva nos inclinamos por $C=5$ cm. lo cual se ajusta a la $E_0 = 4 \frac{\text{KV}}{\text{cm}}$. normalmente usados en la práctica, con modelos experimentales.

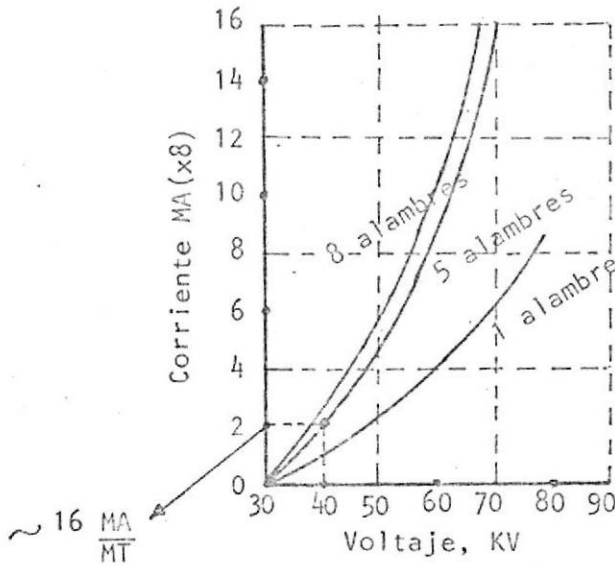


DIAGRAMA 5-13.

D) Para obtener el valor de b = espacio de alambre a plato: Por

criterios prácticos el espacio óptimo de alambre a alambre (C) está en el rango de $\frac{1}{2}$ a 1 la anchura del ducto. Para nuestro modelo tomaremos el valor $\frac{1}{2}$, es decir, $C = \frac{1}{2} D$. D = anchura del ducto = $2 b$.

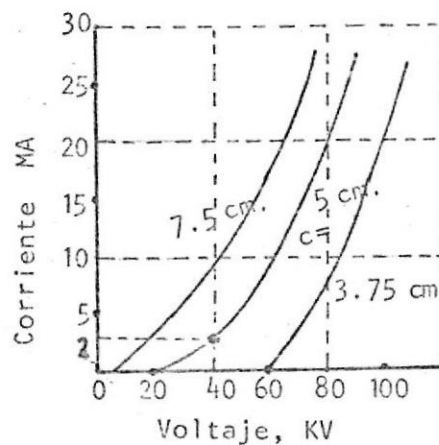


DIAGRAMA 5-14.

Luego: $C = \frac{1}{2} (2b) = 5 \text{ cm.}$. . $b = 5 \text{ cm.}$ y $D = 10 \text{ cm.}$

El diseño cualitativo de las estructuras de soporte de los electrodos de descarga puede observarse en los Diagramas 4.6, 5.15. El análisis estructural detallado está fuera del alcance del objetivo de estos estudios preliminares. En todo caso, estas ideas, junto con la selección del material de construcción de los electrodos dada en Cap. 6 y el montaje mismo del modelo, servirá para los estudios definitivos del proyecto final, relacionado con estas estructuras.

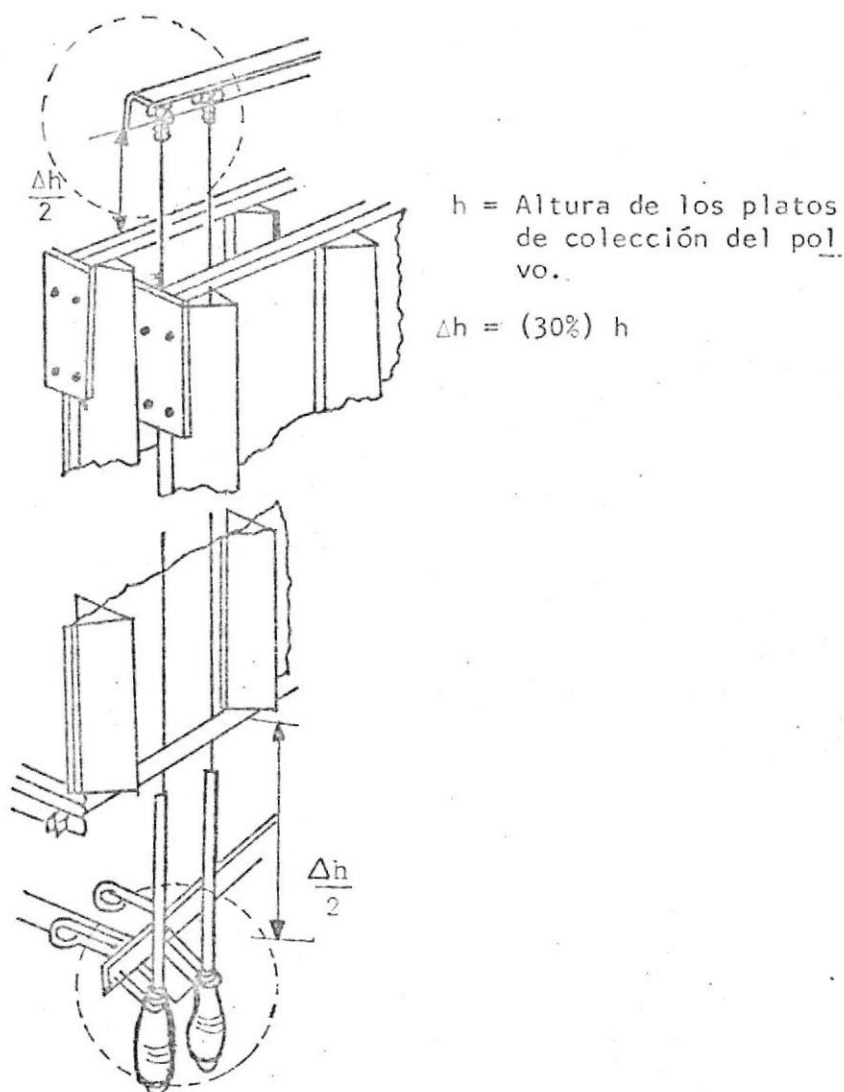


DIAGRAMA 5-15.- Arreglo de los electrodos de descarga para precipitadores de ducto

5.4. CALCULO Y DISEÑO DE LOS ELECTRODOS COLECTORES Y ESTRUCTURAS DE SOPORTE

Una variedad de superficies planas de recolección del polvo está disponible. El uso de platos alineados, con aletas para reforzarlas, ha llegado a ser común en los diseños prácticos, de los últimos años. Formas especiales son diseñadas principalmente para prevenir el reingreso del polvo al flujo. El Diagrama 5.16 muestra algunos tipos de superficies de colección. El número, tipo, tamaño y el espacio entre superficies de colección requeridos son dependientes de la aplicación y rendimiento deseado.

Para una aplicación dada, un incremento en el área total de la superficie de colección usualmente mejorará el rendimiento previsto cuando es suministrado una adecuada potencia eléctrica en la corona.

El diseño óptimo de los electrodos colectores de nuestro modelo, de acuerdo a los fines de depuración del gas con polvo (clinker) de cemento obedece al tipo de "Platos dobles con aletas de sección triangular", con lo cual conseguimos una alta eficiencia de recolección deseada (95%), buen control del flujo de gas, acción electrostática y razón de precipitación de las partículas en inmejorables condiciones, etc. como se muestra en diagrama 5.15.

Nuestros parámetros cuantitativos de diseño son: el N° de superficies colectoras, distribuídas en módulos de ductos de una sola fase de precipitación; el tamaño de los platos (longitud-altura).

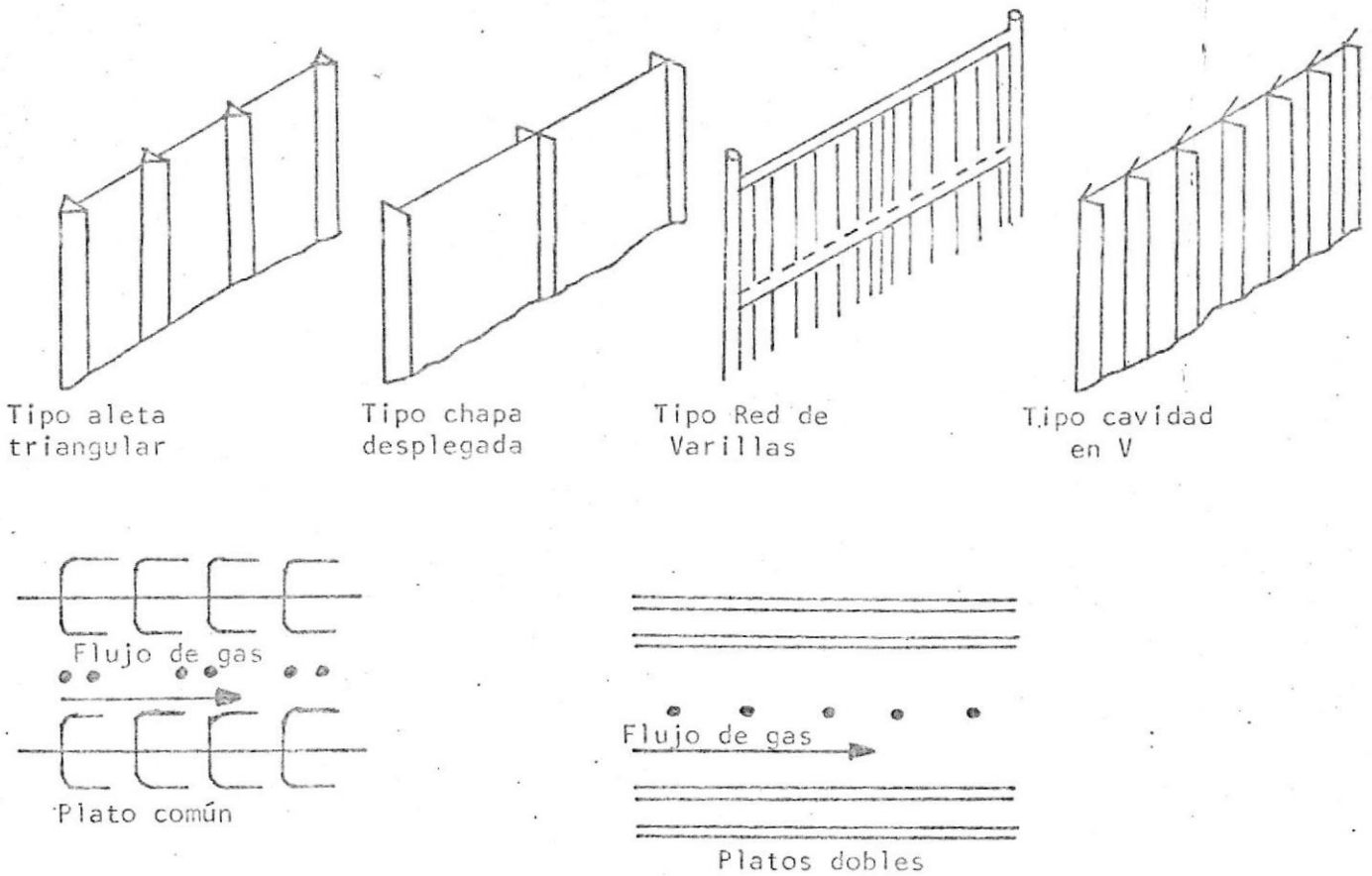


DIAGRAMA 5-16.- Platos de colección de un precipitador electrostático

El espacio entre platos (D) ya fue diseñado en el análisis de los electrodos de descarga, debido a su relación directa con la posición de estos últimos.

De acuerdo a experiencias profesionales previas sugieren que para un modelo de precipitador eléctrico típico, de un tamaño calculado para limpiar $30000 \frac{\text{Ltr.}}{\text{min.}}$ ($500 \frac{\text{Ltr.}}{\text{seg.}}$) [Condición de diseño] ha de tener 10 pasadizos paralelos para el gas, de 10 cm. de ancho (yá calculado), que se encargarán cada uno de $50 \frac{\text{Ltr.}}{\text{seg.}}$ de gas.

Lo cual implica distribuir el flujo en 2 módulos (o bloques) de electrodos colectores, de 5 pasadizos y 6 superficies colectoras cada uno, con separación hermética entre módulos.

Tamaño:

Calcularemos la mínima longitud del electrodo colector en la dirección del flujo de gas requerido para 100% de eficiencia de recolección, considerando como factor de seguridad $\Delta 5\%$.

Si L = longitud del plato en la dirección del flujo de gas (diagrama 5.17). Entonces $L = \frac{bV}{W}$ (5.4.1) (Para eficiencia teórica del 100%)

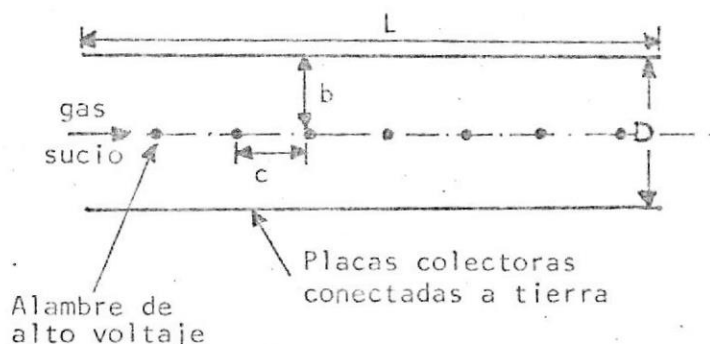


DIAGRAMA 5-17.

b = Separación de electrodos de descarga y colectores (mt)

V = Velocidad media del gas en la dirección del flujo a través del ducto (Mps).

W = La velocidad de precipitación de las partículas en las superficies colectoras (M.p.s.)

$b = 5 \text{ cm.} = 5 \times 10^{-2} \text{ mt}$ (parámetro determinado en 5.3)

$V = 4.8 \frac{\text{mt}}{\text{seg.}}$ (de acuerdo a la reducción 5:1 lograda en el sistema de difusión)

$W = (8.42 \times 10^{-3}) E^2 \cdot d \cdot P \frac{\text{Ft}}{\text{seg.}}$ (5.4.2)

E = El potencial aplicado a los electrodos $\frac{\text{KV}}{\text{pulg.}}$

d = Diámetro de la partícula, micrones

$P = 1 + \frac{2(D'-1)}{D'+2}$ (5.4.3) p = Factor

D' = Constante dieléctrica del flujo

$D' \approx 1$ de acuerdo a tabla Cap. 10 y en condiciones ideales (primeras aproximaciones del anteproyecto).

$$\therefore P = 1 + \frac{2(1-1)}{1+2} = 1$$

$$E = 4 \frac{\text{KV}}{\text{cm.}} = 10 \frac{\text{KV}}{\text{inch}}$$

$$d = 5 \mu$$

$$W = (8.42 \times 10^{-3}) (10)^2 (5) (1)$$

$$W = 4.21 \text{ F.P.S.} = 1.3 \text{ M.P.S.}$$

Por lo tanto:

$$L = \frac{(5 \text{ cm}) (4.8 \text{ mt/seg.})}{(1.3 \text{ mt/seg.})} = 18.5 \text{ cm.}$$

(mínima longitud)

$$L \approx 25 \text{ cm. (casos prácticos normales de modelos)}$$

Cálculo de la altura de los platos.- Partimos de:

$$n = 1 - e^{-w \left(\frac{A_p}{Q'} \right)} \quad (5.4.4) \quad \text{(Fórmula práctica de Deutsch de eficiencia y diseño de un precipitador eléctrico)}$$

$n \equiv$ Eficiencia colectora = 95%
(o fracción en peso del polvo colectado)

$$w = 1.3 \text{ m.p.s.}$$

A_p = El área de los electrodos colectores o platos (mt^2)

Q' = El volumen de gas pasando a través del ducto $\frac{\text{mt}^3}{\text{seg.}} = 50 \times 10^{-3} \frac{\text{mt}^3}{\text{seg.}}$

e = base de los logaritmos Neperianos

Reemplazando en (5.4.4)

$$0.95 = 1 - e^{-(1.3 \text{ mt/seg.}) \left[\frac{A_p (\text{mt}^2)}{50 \times 10^{-3} \frac{\text{mt}^3}{\text{seg.}}} \right]}$$

$$0.95 = 1 - e^{-26 A_p} ; \quad 20 = e^{26 A_p} ; \quad A_p = \frac{\ln 20}{26}$$

$$A_p = 0.115 \text{ mt}^2 = 1150 \text{ cm}^2$$

$$A_p = 2Lh$$

h = Altura de los platos colectores

$$h = \frac{A_p}{2L} = \frac{1150 \text{ cm}^2}{2 (18.5 \text{ cm})} = 31 \text{ cm.} \quad \sim h = 40 \text{ cm}$$

(por razones prácticas)

El diseño del plato colector será: Diagrama 5.18

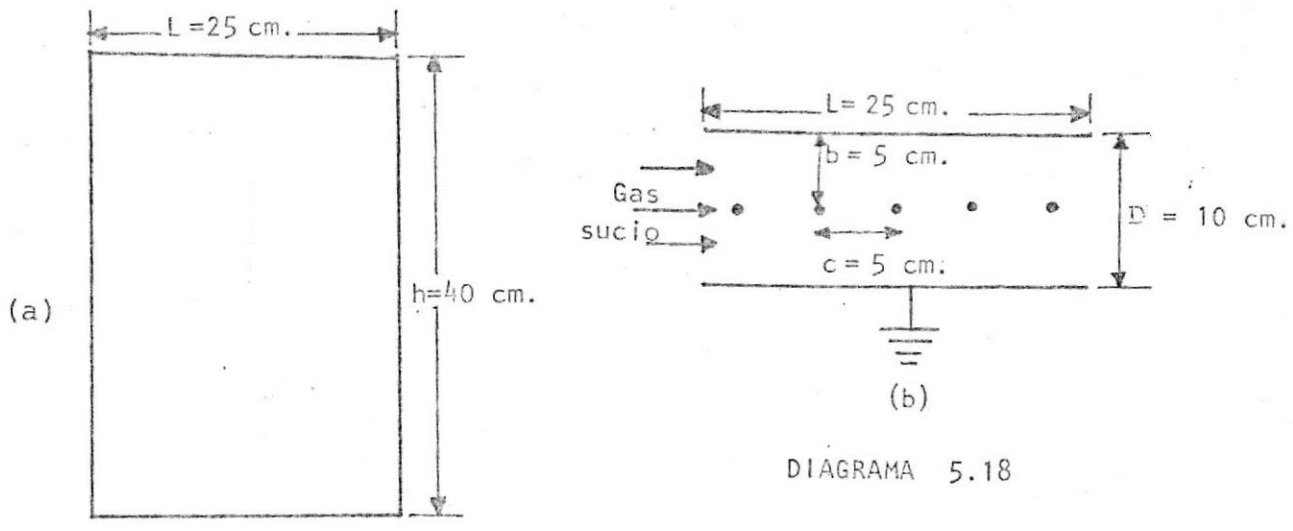


DIAGRAMA 5.18

De 5.3 calculamos:

$$L_c = h + \Delta h = (40 \text{ cm.}) + (0.3) (40 \text{ cm.}) = 52 \text{ cm.}$$

A continuación determinaremos la pérdida de polvo en Kg/hr (lb/hr) para el flujo de gas uniforme, para de esa manera tener presente el grado de eficiencia de operación de nuestro equipo en estudio.

$$\text{Pérdida} = \frac{(1 - \eta) (3600) (Q) (G)}{(7000)} \left(\frac{\text{lb}}{\text{hr}}\right) \quad (5.4.5)$$

$$\eta = 0.95$$

$$Q = \text{flujo total} \left(\frac{\text{ft}^3}{\text{sec}}\right) \quad Q = 30 \frac{\text{mt}^3}{\text{min.}} = 16.5 \frac{\text{ft}^3}{\text{sec.}}$$

$$G = \text{Concentración de polvo} \left(\frac{\text{granos}}{\text{ft}^3}\right)$$

$$G = 200 \frac{\text{granos}}{\text{mt}^3} \text{ (condición de diseño)} = 6 \frac{\text{granos}}{\text{ft}^3}$$

Reemplazando en (5.4.5) tenemos:

$$\text{Pérdida} = \frac{(1-0.95) (3600) (16.5) (6)}{(7000)} = 2.54 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$\text{Pérdida} = 1.16 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Los paneles de electrodos colectores se agrupan en el interior de la caja de precipitación formando módulos suspendidos independientemente.

El diseño cualitativo de las estructuras de soporte para los electrodos colectores es según el diagrama 5.15. El análisis estructural queda de acuerdo al mismo criterio expuesto en 5.3.

5.5. CALCULO Y SELECCION DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA.

La eliminación y retención de las partículas en un precipitador electrostático depende directamente de la ionización de la corona y campos eléctricos, los cuales son establecidos en la zona de precipitación por la energía de alto voltaje suministrado al precipitador. El rendimiento máximo requiere los niveles más altos posibles de energización eléctrica y completa compatibilidad entre el equipo de energización de alto voltaje y el precipitador, considerado como una carga eléctrica (consumo).

El voltaje, la energía eléctrica y la seccionalización de los bloques de energía están interrelacionados.

Suministro de Corriente de Alto Voltaje.- Se han seleccionado bloques especiales de alto voltaje con transformadores - Rectificadores para las condiciones extremas de carga que se encuentran al proporcionar corriente de alto voltaje a los precipitadores eléctricos.

Como la eficiencia colectora máxima depende predominantemente de un voltaje máximo, los bloques de energía deben tener una capacidad excedente en cuanto a voltaje y corriente. (40 KV pico - $16 \frac{MA}{mt}$ en nuestro sistema).

En la práctica, el voltaje precipitador máximo es el nivel más alto que se puede conservar sin tener un arco eléctrico - continuo entre el alambre y el electrodo colector en uno o más puntos dentro del precipitador.

El bloque moderno de energía consta de 3 componentes completos: gabinete de Control remoto - reactor de núcleo saturable - Unidad transformadora rectificadora.

El circuito de alto voltaje, como se demuestra en el diagrama 5.19, consta principalmente de los siguientes elementos:

1. Suministro de corriente (C.A. 1 fase, 440 voltios, 60 Hz)
2. Reactor de núcleo saturable para regular la energía (C.A.)
3. Transformador de alto voltaje para aumentar el voltaje (hasta 40000 V C.A.)
4. Rectificador para cambiar la C.A. a C.D.
5. Circuito completo de sistemas de electrodos precipitadores (C.D.)

Para seleccionar el sistema de rectificación adecuado, debemos considerar los diversos tipos: A) de tubos electrónicos; B) de estado sólido: Selenio - Silicio.

Los rectificadores de Silicio, los más recientes al servicio de la precipitación eléctrica, aunque más caros, pero son garantizados para un servicio confiable con larga vida, no tienen problemas con la alta temperatura y están herméticamente sellados. Por lo tanto, nos inclinamos por los Diodos de Silicio como sistema de rectificación de la energía suministrada al modelo en estudio.

Las unidades modernas transformadoras - rectificadoras de

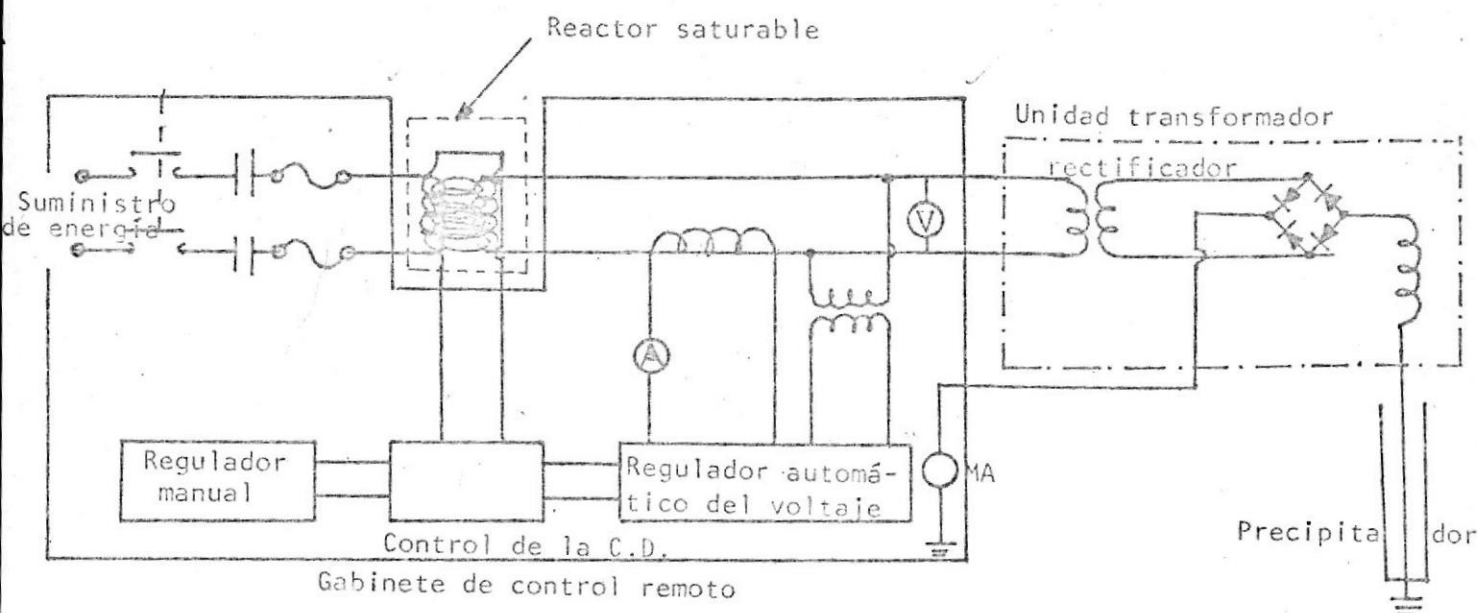


DIAGRAMA 5-19.- Dibujo esquemático simplificado

Diodos de Silicio están diseñadas especialmente para las condiciones de carga intensa y atmósferas corrosivas al suministrar corriente de alto voltaje a los precipitadores eléctricos.

Los componentes principales de una unidad TR incluyen: el tanque - el transformador de alto voltaje - los rectificadores de Silicio ordenados para constituir circuitos en puente de doubles semiperíodos alternos o de Onda completa - el interruptor de alto voltaje - y los tubos aisladores de salida.

La forma de Onda de rectificación lo seleccionamos de acuerdo al diagrama 5.20, elección óptima para nuestro modelo de 1 sola sección de precipitación.

La distribución de energía lo haremos siguiendo el arreglo PA21-11 (PA = colocación de los bloques de energía) como lo muestra el Diagrama 5.21.

A continuación calcularemos la Energía requerida para eliminar las partículas de polvo de cemento del flujo de gas, neces

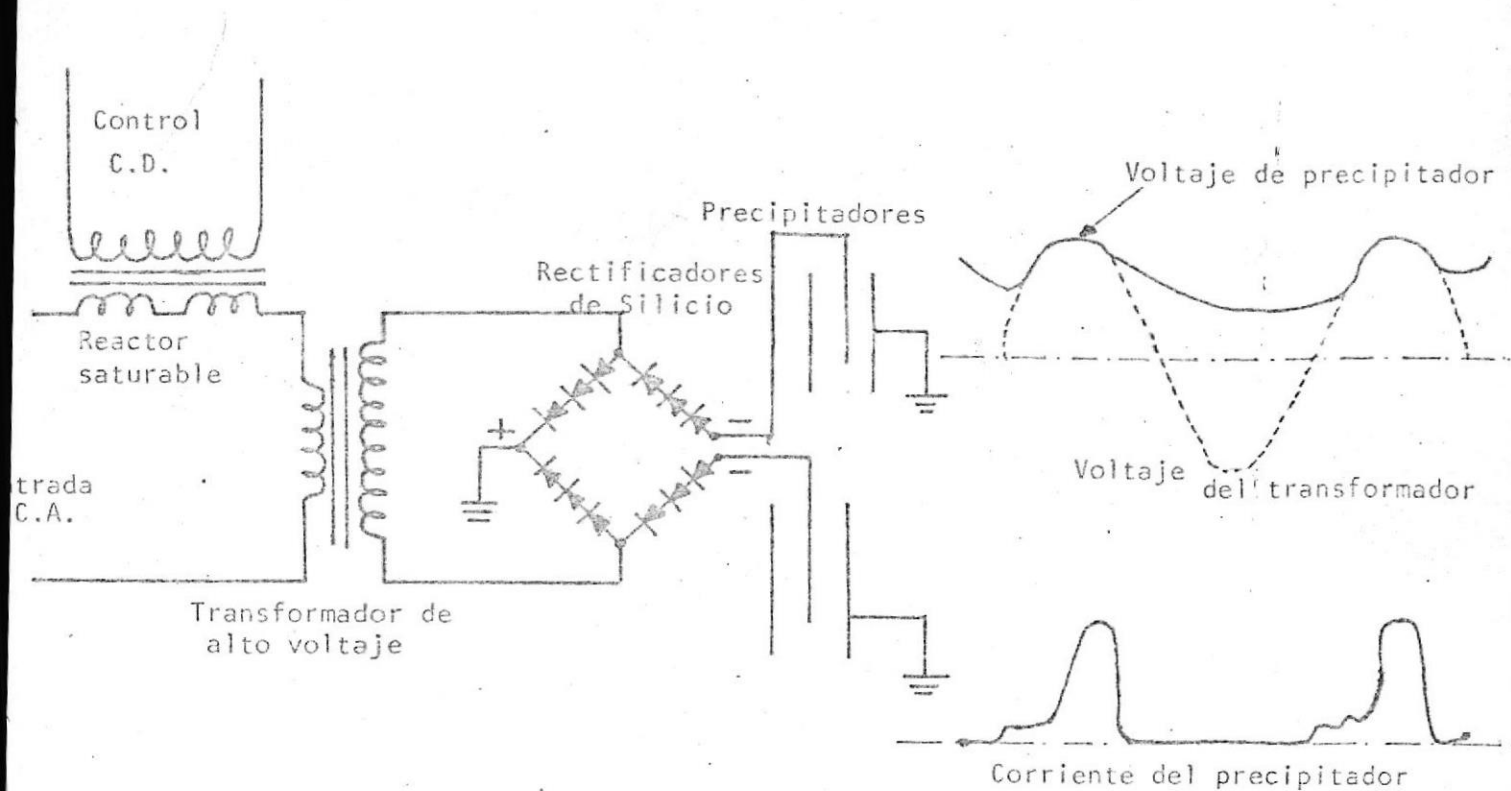


DIAGRAMA 5-20.- Circuito esquemático para módulos de Rectificación de Media Onda de Silicio con control de Reactor saturable

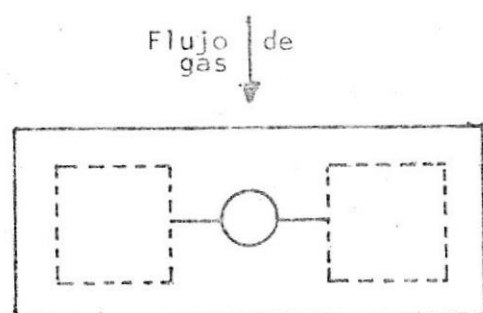


DIAGRAMA 5-21

perficie de colección.

De la Ley de Stokes de la Resistencia Friccional R_F para una partícula esférica está dada por:

$$R_F = 6\pi \sigma a' w \quad (5.5.1)$$

σ = Viscosidad absoluta del gas

a' = Radio de la partícula

w = Velocidad de precipitación de las partículas

El trabajo T_R hecho para mover una partícula una distancia

rio tener presente para los estudios posteriores:

La energía eléctrica necesaria para separar partículas de un flujo de gas, puede ser estimada del arrastre viscoso del gas y la distancia en que se mueven las partículas hacia la superficie de colección.

b a través del gas hacia el electrodo colector, es entonces:

$$T_R = R_F b \quad (5.5.2)$$

b = distancia de la corona de descarga - electrodo colector.

$$\dots \quad T_R = 6 \pi \sigma a' w b$$

En nuestro sistema:

$$\sigma \cong 2 \times 10^{-6} \text{ Kg - seg./mt}^2 \quad (\text{considerado como producto de combustión a } T = 200^\circ\text{C}) \quad \text{Ver tabla Cap. 10}$$

$$a' = 2.5 \mu = 2.5 \times 10^{-6} \text{ mt.}$$

$$b = 5 \times 10^{-2} \text{ mt.}$$

$$w = 1.3 \text{ mt/seg.}$$

$$\dots = (6 \pi) (2 \times 10^{-6} \frac{\text{Kg-seg.}}{\text{mt}^2}) (2.5 \times 10^{-6} \text{ mt}) (1.3 \frac{\text{mt}}{\text{seg.}}) (5 \times 10^{-2} \text{ mt})$$

$$T_R = 6.13 \times 10^{-12} \text{ KgF - mt}$$

Ahora el trabajo total hecho para eliminar todas las partículas en un mt^3 de gas es:

$$T_{RT} = T_R N_o \quad (5.5.3) \quad N_o = \text{El número de partículas/mt}^3 \text{ de gas.}$$

$$C = \text{Carga de partículas en UTM/mt}^3 \text{ gas.}$$

$$N_o = \frac{C}{\left(\frac{4}{3} \pi a'^3\right) \rho} \quad (5.5.4) \quad \rho = \text{Densidad de las partículas de polvo.}$$

$$\rho = 102 \frac{\text{UTM}}{\text{m}^3} \quad (\text{determinado experimentalmente en muestra tipo})$$

$$\text{Si } M_p = \text{Masa de la partícula} = \left(\frac{4}{3} \pi a'^3\right) \rho = \left[\left(\frac{4}{3} \pi\right) (2.5 \times 10^{-6})^3 \text{ mt}^3\right]$$

$$\times (102 \frac{\text{UTM}}{\text{m}^3}) = 6.7 \times 10^{-15} \text{ UTM.}$$

$$\therefore N_o = \frac{C}{M_p} = \frac{C \frac{UTM}{m^3 \text{ gas}}}{6.7 \times 10^{-15} \frac{UTM}{\text{partícula}}} \quad G = 200 \frac{\text{granos}}{mt^3 \text{ gas}}$$

Se ha establecido que:

1 gramo \rightarrow 40 granos

x clinker \leftarrow 200 granos

x = 5 granos

$$\therefore C = 5 \frac{\text{Gramos}}{mt^3 \text{ gas}}$$

$$C = (5 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{mt^3 \text{ gas}}) \left(\frac{1 \text{ UTM}}{9.8 \text{ Kg}} \right)$$

$$C = 5.1 \times 10^{-4} \frac{\text{UTM}}{mt^3 \text{ gas}}$$

$$N_o = \frac{5.1 \times 10^{-4} \frac{\text{UTM}}{m^3 \text{ gas}}}{6.7 \times 10^{-15} \frac{\text{UTM}}{\text{part.}}}$$

$$N_o = 7.6 \times 10^{10} \frac{\text{part}}{m^3 \text{ gas}}$$

$$\therefore T_{RT} = (6.13 \times 10^{-12} \text{ Kg-m}) (7.6 \times 10^{10} \frac{\text{part}}{m^3 \text{ gas}}) = 4.65 \times 10^{-1} \frac{\text{Kg-m}}{m^3 \text{ gas}}$$

$$\therefore T_{RT} = 0.465 \frac{\text{Kg-m}}{m^3 \text{ gas}}$$

Para seleccionar la capacidad del transformador que elevara la tensión en una relación 100:1 aproximadamente a partir de la tomada de una fuente cercana al equipo, debemos conocer previamente la potencia eléctrica suministrada a la corona, para lo cual:

$$P_c = i_c \left(\frac{V_p + V_m}{2} \right) \quad (5.5.5) \quad P_c = \text{Potencia de la corona}$$

$$V_p = 40000 \text{ Voltios}$$

i_c = Corriente total en la corona.

$$V_m = E_b = (4 \frac{\text{KV}}{\text{cm}}) (5 \text{ cm})$$

V_p = Voltaje pico aplicado

V_m = Voltaje Medio aplicado

$$V_m = 20000 \text{ Voltios}$$

$$i_c = \left(\frac{16 \times 10^{-3} \text{ A}}{mt \text{ alambre}} \right) (I_c) \left(\# \frac{\text{alambres}}{\text{ducto}} \right) \left(\# \text{ ductos del sistema} \right)$$

$$\therefore i_C = \left(\frac{16 \times 10^{-3} \text{ A}}{\text{mt alambre}} \right) (52 \text{ cm}) (5) (10)$$

$$i_C = \left(\frac{16 \times 10^{-3} \text{ A}}{\text{mt alambre}} \right) (26 \text{ mt alambre}) \quad i_C = 0.415 \text{ A}$$

$$\therefore P_C = (0.415 \text{ A}) \left[\frac{40000 + 20000}{2} \right] \text{ Voltios}$$

$$P_C = 12450 \text{ Vatios} \\ \text{(Volt-Amperios)}$$

$$P_C = 12.45 \text{ Kw}$$

Por consiguiente, necesitamos instalar 1 transformador Mono fásico de 15 KVA de capacidad o alguno que esté disponible en el mercado y sea compatible con la capacidad necesitada.

5.6. CALCULO Y SELECCION DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL E INSTRUMENTOS DE MEDICION

Regulación automática del Voltaje.- El objetivo principal de la regulación automática del voltaje es mantenerlo lo más alto posible sin que llegue a saltar el arco eléctrico en cada barra colectora, inclusive en condiciones de funcionamiento muy variables para garantizar una eficiencia colectora continua máxima. La experiencia de bastantes años ha demostrado que el personal de la fábrica no puede por medios manuales conservar un voltaje óptimo en el precipitador.

Como los voltajes del arco eléctrico continuo cambian de un segundo al siguiente al variar las condiciones del funcionamiento, los bloques de energía modernos están equipados con un sistema automático de regulación de voltaje que continuamente regula el alto voltaje que no tiene suficiente salto de arco eléctrico.

El gabinete de control remoto (mostrado en Diagrama 5-19) contiene todos los dispositivos de control necesarios - (excepto el del reactor de núcleo saturable, montado aparte), y los instrumentos necesarios para vigilar y controlar el funcionamiento del precipitador eléctrico. Generalmente está localizado en un punto conveniente, a veces lejos del precipitador.

El suministro de energía y controles para cada sección del precipitador son energizados separadamente para prevenir fluctuaciones de la potencia eléctrica de sección a sección. Los controles de la potencia eléctrica regulan la corriente, el voltaje y el salto de arco.

Los elementos de control e instrumentos usuales son:

- 1.- Juego de controles e indicadores eléctricos individuales.
- 2.- Indicadores de la razón del salto de arco.
- 3.- Controles e indicadores del ciclo, frecuencia, intensidad, y duración de vibración para eliminación del polvo del sistema colector.
- 4.- Indicador de la opacidad de salida.
- 5.- Indicadores de la línea de voltaje.

Son aplicables controles para proveer registro permanente - del rendimiento. Las alarmas son usadas como señal para cuando las variables de control se desvíen de lo normal y cuando las válvulas de control o de compuerta fallan a su función apropiada.

Cálculo de la razón de salto de Arco controlada.- El grado óptimo del salto de arco depende de muchos factores, tales como el tamaño del precipitador, características y concentración del

flujo de gas, etc.: $f(\beta)$

De acuerdo a (5.6.1):

$$S = e^{\beta (V_p - V_o)}$$

donde: S = Razón de salto de arco ($\frac{\text{unidades}}{\text{minuto}}$)

β = Constante empírica del orden de magnitud de 1 aproximadamente.

V_p = Voltaje Pico en kilovoltios

V_o = Voltaje inicial del salto de chispa en kilovol_tios.

$\beta \approx 1.1$ (aproximadamente para nuestro sistema: pre_cipitador de clinker de cemento, como referencia tenemos $\beta = 1.5$ para precipitador de ceniza fina)

$V_p = 40$ KV (ya establecido)

$V_o = 36$ KV (consideramos)

$$\therefore S = e^{1.1(40 - 36)} = e^{4.4}$$

$$S = 82 \frac{\text{saltos de chispa}}{\text{minuto}}$$

Resultado que se encuentra dentro del rango de $50 - 100 \frac{\text{s.ch.}}{\text{min.}}$

que usualmente ocurre para eficiencia máxima.

La selección de los principales elementos de control se ha hecho de acuerdo al Diagrama 5.22 que muestra en representación esquemática de bloques la unidad de control automático correspondiente para nuestro modelo de precipitador eléctrico en estudios preliminares.

Los instrumentos de medición de primer orden para cumplir con sus objetivos indicados anteriormente son los medidores del alto voltaje en (KV), los de corriente en la corona de descarga en (MA) y los del control del salto de arco. Por consiguiente, necesitamos voltímetros que registren en su dial un rango de $10 - 50$ KV y amperímetros que registren de $100 - 1000$ MA, -

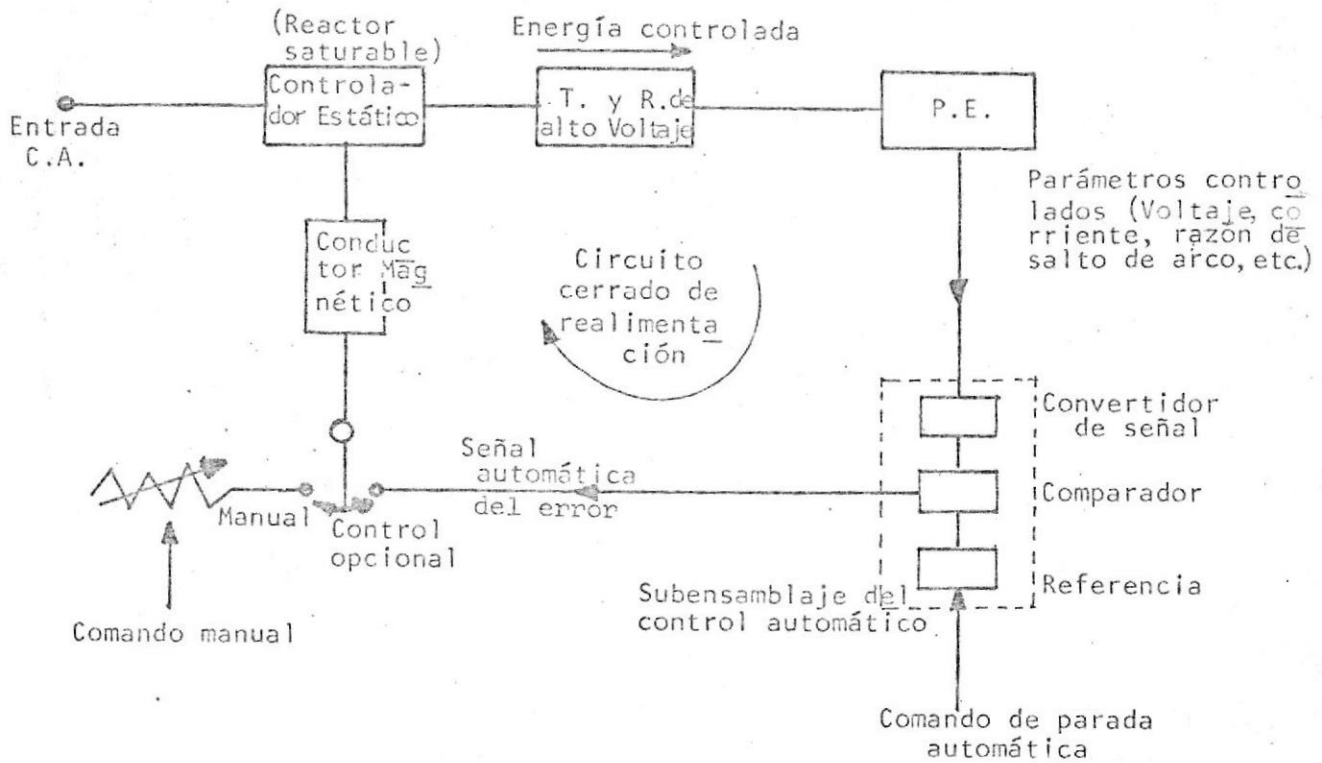


DIAGRAMA 5-22.- Diagrama de bloque del sistema de control automático, de Voltaje y corriente, de respuesta rápida para el servicio de precipitación.

calculado con extrapolación del intervalo necesitado (criterio de instrumentación) de energía eléctrica aplicada.

5.7. CALCULO Y SELECCION DEL SISTEMA DE VIBRACION PARA DESEMPOLVAMIENTO

Los requisitos de alta eficiencia de los códigos sobre contaminación del aire no permiten las disminuciones de la eficiencia debidas a una limpieza inadecuada de los electrodos. Ni tampoco permiten las bocanadas visibles producidas por pérdidas excesivas de arrastre. Por consiguiente, una característica esencial de la precipitación eléctrica eficiente es la eliminación de los depósitos acumulados de los electrodos. Esto es necesario no solo para eliminar el material recolectado del precipitador sino también para mantener condiciones eléctricas óptimas en las zonas de precipitación.

Los depósitos son usualmente desprendidos por sacudidas mecánicas o vibración de los electrodos. En nuestra aplicación - del precipitador, las partículas de clinker tienden a acumularse sobre los electrodos de descarga tanto como sobre los electrodos colectores; en este caso es necesario proveer medios efectivos de vibración tanto para los electrodos de descarga y recolección.

Un sistema satisfactorio de vibración se caracteriza por un alto grado de confiabilidad, por su capacidad para mantener los golpes uniforme y estrictamente controlados sobre largos períodos de tiempo, y porque la intensidad de vibración sea flexible y fácilmente controlada.

El material particulado sólido recolectado es usualmente desprendido de las superficies colectoras por vibradores neumáticos o electromagnéticos.

El Diagrama 5.23 (Cap. 10) muestra algunos tipos de Mecanismos de vibración para desempolvamiento.

La selección óptima para nuestro modelo, la hacemos de acuerdo con B) es decir, vibradores operados por solenoides magnéticos porque estos pueden ser ajustados en forma más exacta para el control de la frecuencia e intensidad de los golpes.

Los factores que influyen en la intensidad, frecuencia y número de golpes requeridos por ciclo son:

- a) Características aglomerantes del polvo.
- b) La razón a la cual el polvo es acumulado sobre el electrodo colector.
- c) La tendencia del polvo a reintegrarse al flujo de gas.
- d) El efecto del polvo acumulado sobre la operación eléctrica -

del precipitador.

e) El ciclo de operación del equipo en servicio.

Considerando este criterio en nuestro caso, seleccionamos un equipo vibrador Tipo ERC-4 con:

1. Intensidad de vibración - ajustado por un dial de cero a impacto total.
2. Frecuencia de vibración - ajustado por un dial de 80 por minuto a menos que 2 por minuto.

Vibradores para los electrodos de la corona, necesitamos para una operación a intervalos de minutos y para períodos de 10 o 20 seg., porque son efectivos en la eliminación de estos depósitos de polvo.

Para nuestro precipitador en estudio, creo suficiente 3 vibradores electromagnéticos, uno para cada módulo de electrodos colectores y el otro conectado al sistema de descarga.

Para poder seleccionar la capacidad de los sistemas vibradores ERC-4 a instalarse en nuestro equipo, necesitamos calcular la intensidad de campo magnético requerido para el solenoide en su operación (parámetro básico).

De acuerdo a Ley de Biot-Savart:

$$\alpha = \frac{0.2 \pi I N}{r}$$

donde:

α = Intensidad del campo magnético (Oersteds)

I = Intensidad de la Corriente (Amp.) = 0.5 con margen de seguridad por pérdidas.

N = # de espiras del solenoide = 20 (asumimos por experiencias similares)

r = Radio de la espira (cm) = 4 cm.

$$\alpha = \frac{0.2 \pi \times 20 \times .5}{4} = 1.57 \text{ Oersteds} \approx 2 \text{ Oert.}$$

como la capacidad de Inducción magnética de funcionamiento del sistema seleccionado.

5.8. CALCULO Y DISEÑO DE LAS TOLVAS - SALIDA DEL POLVO COLECTADO - CORAZA.

Caja del precipitador.- Las partes principales de la caja son la armazón, las tolvas, conexiones de las boquillas de entrada y de salida, las puertas de inspección y los compartimientos aisladores. La armazón estandar (paredes divisorias, paredes terminales y, secciones de la parte de arriba) se las refuerza con columnas, viguetas y refuerzos para soportar la presión máxima positiva del gas (~ 8 atm.) que se va a tratar de acuerdo con el modelo, así como la temperatura máxima (200°C).

Un arreglo de diseño para el precipitador tipo ducto en nuestro modelo lo observamos en Diagrama 5.24 (Ver cap. 10).

La coraza la diseñamos como una estructura soldada del tamaño práctico más grande, teniendo en cuenta el transporte y la instalación, de acuerdo al Diagrama 5.24. Donde las juntas de los extremos de los vértices de la caja para su acoplamiento con las secciones de la armazón correspondientes al techo y con las tolvas, la hacemos de acuerdo a Diagrama 5.26 hecho de una sección de un perfil en U laminado en caliente y de un conjunto de chapas cortadas, unidas a planchas que conforman la coraza: (Ver Diagrama 5.25).

$$\begin{aligned} \text{Longitud} &= (10 \text{ pasadizos de gas}) + \sim \Delta (= 20\%) \left\{ \begin{array}{l} \text{entre módulos y} \\ \text{extremos calientes} \end{array} \right. \\ &= (100 \text{ cm}) + 20 \text{ cm.} = 1.20 \text{ mt.} \end{aligned}$$

$$\text{Altura} = L_C + (\Delta \approx 18 \text{ cm.}) \left\{ \begin{array}{l} \text{hasta la pared terminal superior y} \\ \text{tolvas inferiores.} \end{array} \right.$$

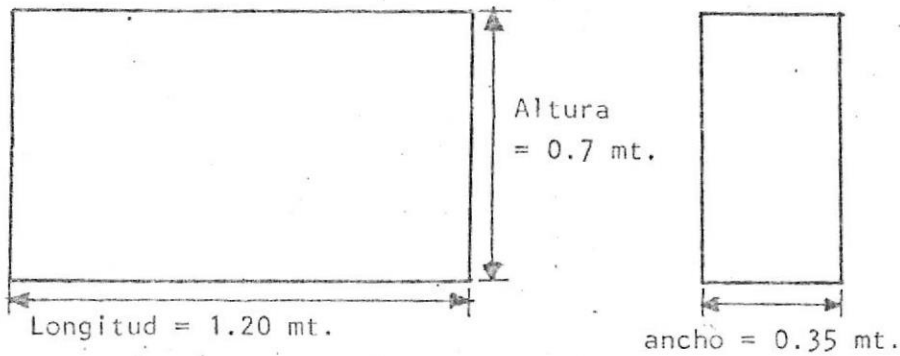


DIAGRAMA 5-25

$$= 52 \text{ cm.} + 18 \text{ cm.}$$

$$= 70 \text{ cm.}$$

$$\text{Ancho} = L + (\Delta \approx 10 \text{ cm.}) \quad \left. \vphantom{\text{Ancho}} \right\} \text{ para los extremos salientes}$$

$$= 25 \text{ cm.} + 10 \text{ cm.}$$

$$= 35 \text{ cm.}$$

Emplearemos soldaduras de filete

Para nuestro precipitador tipo de placas secas, las tolvas estarán situadas bajo los electrodos colectores para atrapar y almacenar el material recolectado.

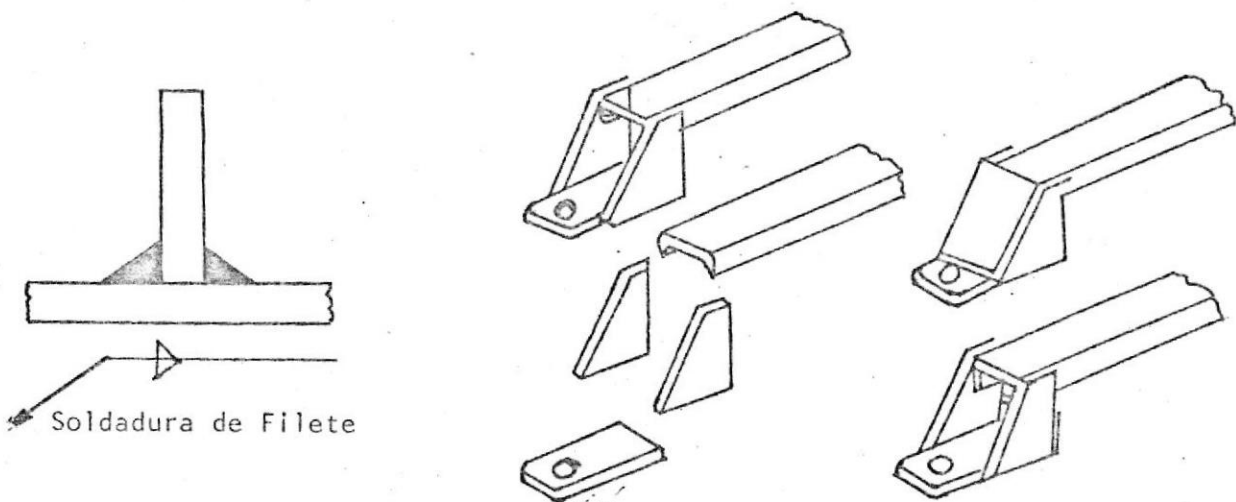


DIAGRAMA 5-26.

En el diseño de las tolvas: la capacidad del depósito, el ángulo de tolva y los medios adecuados de eliminación del polvo son consideraciones esenciales. Las paredes de la tolva serán diseñadas para promover flujo libre del material colectado, con lo cual emplearemos 2 tolvas, una para cada módulo de electrodos colectores. Seleccionamos Tolvas en V con un ángulo óptimo de operación de 30° como lo muestra Diagrama 5.27.

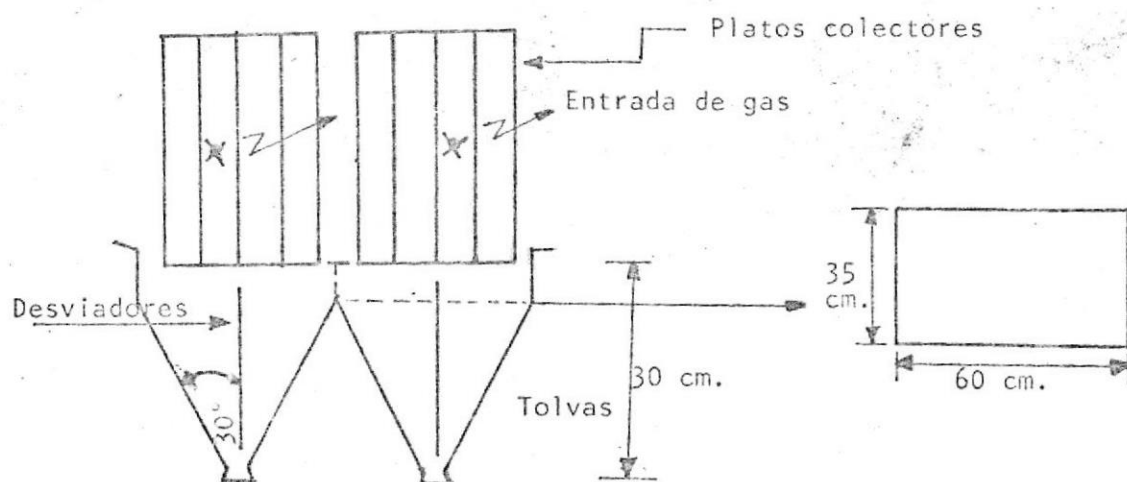


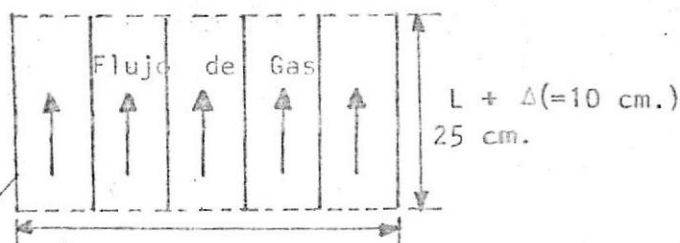
DIAGRAMA 5-27.- Dibujo esquemático del diseño de la Tolva de nuestro modelo

Para las caras exteriores de las tolvas necesitamos aletas, como medios de disipación del calor (a 200°C del clinker), de acuerdo a diagrama 5.24 en la cual la altura de la tolva tomamos para 30 cm. (medida adecuada para la capacidad deseada), y la sección de entrada a la tolva de acuerdo a las dimensiones de cada módulo colector (Diagrama 5.28).

Capacidad de la tolva: $\nabla = \text{Volumen}$

∇ : Corresponde al volumen de un tronco de pirámide.

Módulo colector:



5 pasadizos
= 50 cm. + Δ (=10 cm.)

Platos colectores

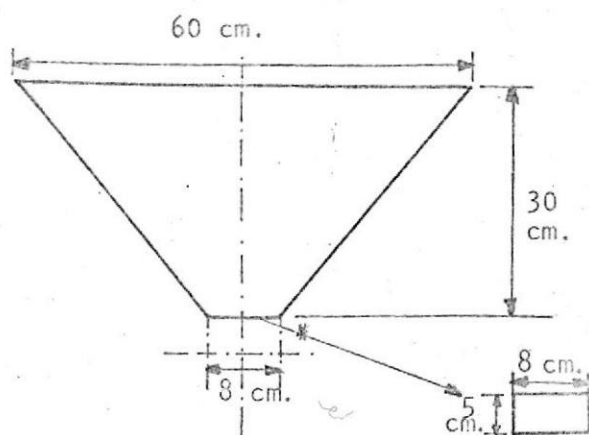


DIAGRAMA 5-28.

$$V = \frac{a'}{3} [B + B' + \sqrt{BB'}] \quad (5.8.1)$$

$$a' = 30 \text{ cm.}$$

$$B = 60 \times 35 \text{ cm}^2 = 2100 \text{ cm}^2$$

$$B' = 8 \times 5 = 40 \text{ cm}^2$$

$$\therefore V = \frac{30}{3} [2100 + 40 + \sqrt{(2100)(40)}]$$

$$V = 24080 \text{ cm}^3 = 24 \text{ litros de capacidad que se ajusta a lo deseado.}$$

* asignado para la eliminación del polvo a un depósito exterior transportado por el tornillo sin fin.

a' = Altura del tronco

B = Area de la base mayor

B' = Area de la Base menor

El sistema de descarga de la tolva lo seleccionamos, para minimizar el escape de gas dentro o fuera del precipitador eléctrico y prevenir el reingreso del material particulado recolectado; con "transportador de tornillo", como medio de eliminación del polvo de la tolva:

Tornillo sin fin como medio de "salida del polvo colectado" de las Tolvas.- La materia particulada recolectada debe ser des

preendida de las superficies colectoras y electrodos de descarga y, movida de la tolva del precipitador electrostático a una área de depósito, lo hacemos con un "Tornillo sin fin", de acuerdo al Diagrama 5.29.

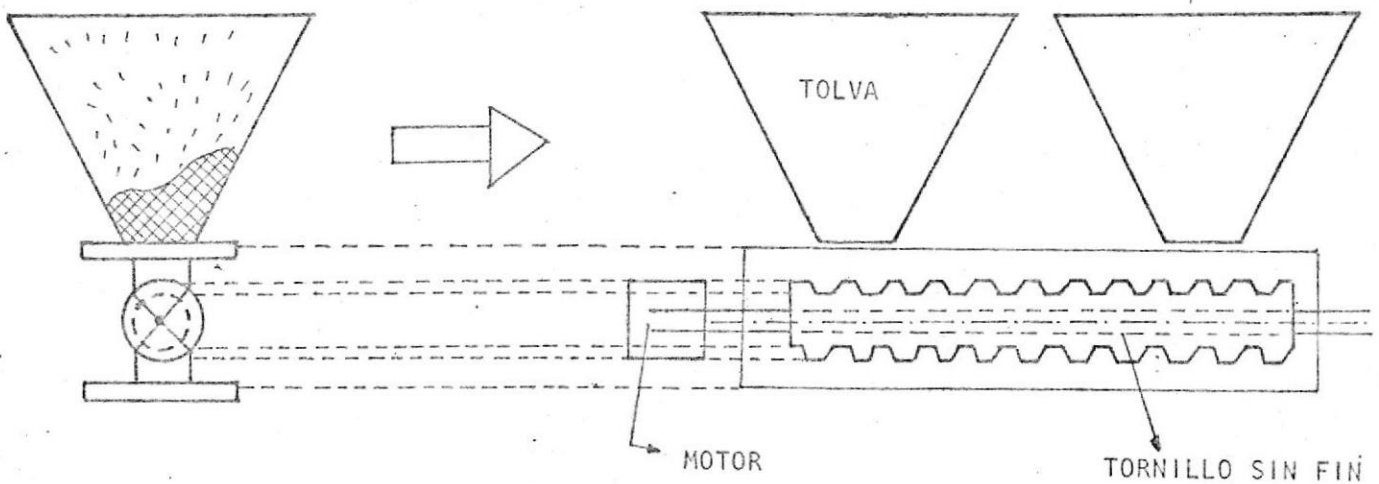


DIAGRAMA 5-29

Por consiguiente, necesitamos un tornillo sin fin con:

$$\lambda = \text{Angulo de avance} = 20^\circ$$

$$y \quad L' = \text{Avance longitudinal} = 3 p_x \quad (\text{de triple rosca})$$

$$P_x = \text{Paso Axial} = 5 \text{ cm.}$$

De acuerdo a Diagrama 5.30 (Valores asumidos por sugerencias de manuales para este tipo de operación).

$$\therefore D_w = \text{Diámetro primitivo del tornillo sin fin}$$

$$(5.8.2) \quad D_w = \frac{L'}{\pi \operatorname{tg} \lambda} \quad \left[\text{Fórmula conocida de "Diseño de elementos mecánicos"}. \right]$$

$$D_w = \frac{15 \text{ cm.}}{\pi \operatorname{tg} 20^\circ} = 13.2 \text{ cm.} \quad \text{y un } N_w = \# \text{ dientes por avance según:}$$

$$L' = P_x N_w$$

$$3 p_x = P_x N_w$$

$$\therefore N_w = 3$$

Además se desea un motor que nos proporcione ≈ 30 R.P.M. para una buena operación de transportación.

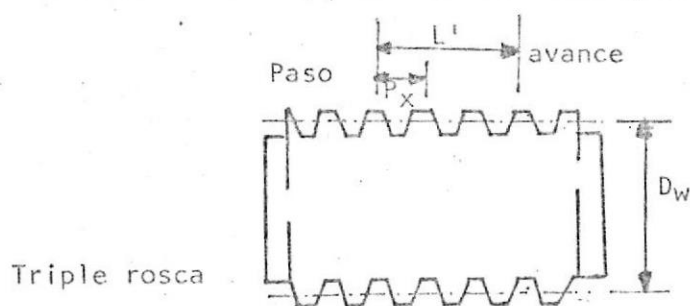


DIAGRAMA 5-30

Calculamos a continuación, la potencia de alimentación del motor al tornillo sin fin:

Dada la eficiencia 95% de nuestro modelo, lógicamente que caerán a las tolvas $190 \frac{\text{granos}}{\text{mt}^3 \text{ gas}}$, pero esta fluyendo 30 mt^3 de gas cada minuto.

Por lo tanto:

$$\left(190 \frac{\text{granos}}{\text{mt}^3 \text{ gas}}\right) \left(\frac{30 \text{ mt}^3 \text{ gas}}{\text{min}}\right) = 5700 \frac{\text{granos}}{\text{min}}$$

serán descargados de la tolva por el transportador.

Así:

$$\begin{aligned} &\left(5700 \frac{\text{granos}}{\text{min.}}\right) \left(1 \frac{\text{gramo}}{40 \text{ granos}}\right) = 142.5 \frac{\text{gramos}}{\text{min.}} \\ &= \left(0.1425 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}\right) \left(\frac{60 \times 24 \text{ min}}{\text{día}}\right) = 205 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

Consideramos una operación diaria en el límite máximo de 24 horas ininterrumpidas.

Si llamamos: P = Potencia ejercida sobre el polvo que cae en la transportación.

F = Fuerza del peso del polvo que hay que vencer

V = Velocidad Tangencial del tornillo sin fin

$$P = F V$$

$$r_w = 6.6 \text{ cm.} = 6.6 \times 10^{-2} \text{ mt}$$

$$w = (30 \frac{\text{Rev.}}{\text{min.}}) \left(\frac{2 \pi \text{ Rad.}}{\text{Rev.}} \right) \left(\frac{1 \text{ min.}}{60 \text{ seg.}} \right)$$

$$V = r_w W$$

r_w = Radio primitivo del tornillo sin fin.

$$W = 3.141 \frac{\text{Rad.}}{\text{seg.}}$$

W = Velocidad angular del tornillo sin fin.

$$V = (6.6 \times 10^{-2} \text{ mt}) (3.141 \frac{\text{Rad.}}{\text{seg.}}) = 20.7 \times 10^{-2} \frac{\text{mt.}}{\text{seg.}}$$

$$P = (205 \text{ Kg}) (20.7 \times 10^{-2} \frac{\text{mt}}{\text{seg.}}) = 42.5 \left(\frac{\text{Kg} \cdot \text{mt}}{\text{seg.}} \right)$$

$$P = 0.563 \text{ CV.} = 0.555 \text{ HP}$$

Considerando pérdidas tomamos un motor de 1 HP y que nos proporcione 30 R.P.M. por cualquier medio de reducción de velocidad.

5.9. CÁLCULO Y SELECCION DE EQUIPOS Y SERVICIOS AUXILIARES

De nuestro modelo de precipitador electrostático en estudio, necesitamos sacar el flujo de gas ya limpio de acuerdo al 95% de eficiencia de precipitación del clinker.

Para lograr una diferencia de presión, entre la entrada del gas sucio y la salida del gas limpio, óptima eliminando la materia residual a una altura atmosférica ideal o un tiro conveniente se utilizará como equipo y servicio auxiliar: una chimenea para la descarga. (Diagrama 5.31).

$$H = \frac{\Delta P}{(G) (\rho_{GS} - \rho_{GL})} \quad (5.9.1)$$

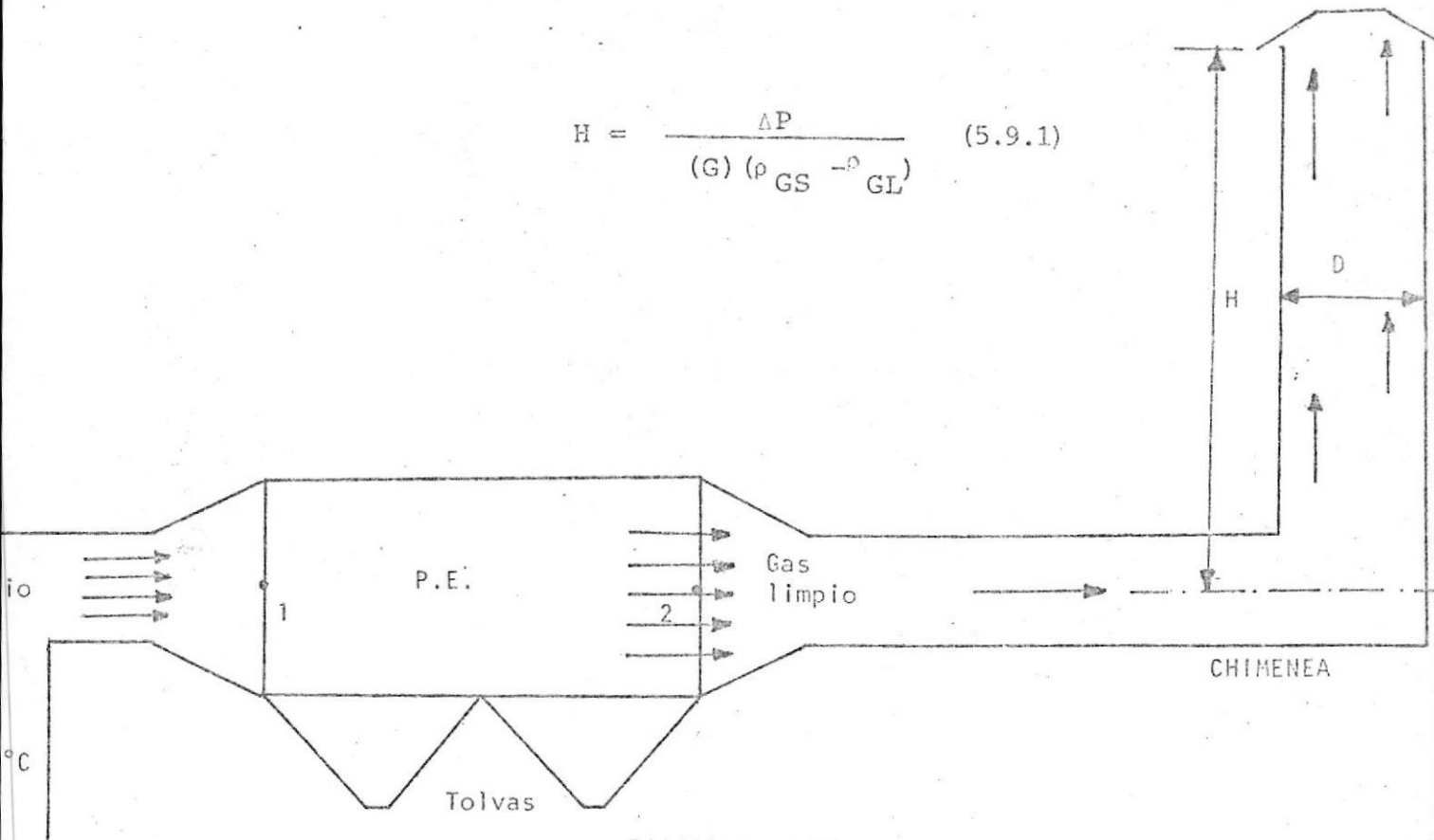


DIAGRAMA 5-31

H = Altura de la chimenea (Mt)

ΔP = Tiro natural teórico $\left(\frac{\text{Kgf}}{\text{mt}^2} \right) = 8 \text{ cm. H}_2\text{O.}$

G = Gravedad $\left(\frac{\text{mt}}{\text{seg}^2} \right) = 9.81 \frac{\text{mt}}{\text{seg}^2}$

ρ_{GS} = Densidad del gas sucio $\left| \frac{\text{UTM}}{\text{mt}^3} \right| = 0.98 \frac{\text{UTM}}{\text{mt}^3}$

ρ_{GL} = Densidad del gas limpio $\left| \frac{\text{UTM}}{\text{mt}^3} \right| = 0.57 \frac{\text{UTM}}{\text{mt}^3}$ (exp.c.)

$\Delta P = (8 \text{ cm H}_2\text{O}) \left(\frac{1 \text{ atm}}{1033 \text{ cm H}_2\text{O}} \right) \left(\frac{10330 \text{ Kg/m}^2}{1 \text{ atm.}} \right) = 80 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$

$$\therefore H = \frac{80 \text{ Kg/m}^2}{(9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}) [0.98 - 0.57] \frac{\text{UTM}}{\text{m}^3}}$$

$$H = 19.8 \text{ mt}$$

En la práctica, la fricción hace que el tiro real sea menor que el teórico y la reducción es hasta 15%. Como el tiro es proporcional a la altura de la chimenea, por lo tanto, H definitivo debe ser reducido en un 15%.

$$H = 19.8 - (19.8 \times 0.15) = 16.82 \text{ mt}$$

$$H \approx 16 \text{ mt}$$

Considerando una chimenea cilíndrica, ahora determinaremos la sección:

$$Q = AV = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) V \quad (5.9.2)$$

$$* Q = \text{Flujo del gas limpio en chimenea} = 30 \frac{\text{mt}^3}{\text{min.}}$$

A = Area de la sección circular de chimenea

D = Diámetro de la Sección

$$* V = \text{Velocidad de flujo del gas limpio en chimenea} = 4.8 \frac{\text{mt}}{\text{seg.}}$$

*(Datos conocidos de análisis anterior)

$$\therefore D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 \times 30 \frac{\text{mt}^3}{\text{min.}} \times 1 \frac{\text{min.}}{60 \text{ seg.}}}{\pi (4.8 \frac{\text{mt}}{\text{seg.}})}}$$

$$D = 0.365 \text{ mt} = 36.5 \text{ cm.} \quad \therefore D = 40 \text{ cm.}$$

Por consiguiente, seleccionamos una chimenea de: 40 cm. de diámetro y 16 mt de altura, para la descarga de los gases limpios de nuestro sistema.

Considerando que se mantiene presión positiva en el proceso (≈ 7 a.t.m.), a través del precipitador eléctrico, no es necesario instalar un ventilador de tiro inducido previo a la chimenea, suficiente con este último en tiro natural.

Teóricamente se considera el proceso a través del modelo como adiabático, por su buen aislamiento térmico.

En nuestro caso, con $T_1 = 200^\circ\text{C}$ de entrada del gas sucio, se estima que prácticamente por la velocidad del flujo y el equipo

pequeño sufrirá un ∇T tal que $T_2 =$ Temperatura de salida del gas limpio = $T_1 - \Delta T$ será energía térmica potencial como para ser aprovechada en algún posible Intercambiador de Calor, en un proceso de Integración del equipo dentro de la planta industrial en servicio auxiliar, previo a la descarga a la atmósfera por la chimenea.

CAPITULO 6

FACTIBILIDAD DE CONSTRUCCION EN EL ECUADOR

6.1. MATERIALES DE CONSTRUCCION

La selección de los materiales para: coraza-superficie colectoras-electrodos de descarga-tolvas y otras superficies depende del costo y el servicio a prestar. La resistencia a la temperatura y corrosión son los 2 factores más importantes a considerar.

La construcción con Acero es usada donde sea posible, sin embargo, aluminio, plomo, concreto, madera, cerámica, plásticos, metales revestidos de plástico, y muchos otros materiales pueden ser empleados.

SISTEMA DE ELECTRODOS DE DESCARGA.- Aleaciones de acero son comunmente usadas, otros materiales incluyen acero inoxidable, plata, níquel-cromo, aluminio, cobre, alambre de hierro o acero revestido de plomo, y aleación de titanio. Cualquier material conductor con el requisito de resistencia a la tracción, es un electrodo de descarga factible.

Los alambres del electrodo de descarga en nuestro modelo son redondos; tomamos para su construcción "acero de calibre 12" reforzados arriba y abajo para el buen contacto eléctrico y para resistir a la erosión mecánica y eléctrica.

Para los aisladores eléctricos del sistema generalmente se usa cerámica, porcelana, silicio y alumina fundida. De esta manera se protegen los aisladores de la humedad, polvo o neblina. Seleccionamos cerámica que satisface optimamente estos requisitos técnicos para el caso. Las estructuras de soporte -

para el sistema construiremos con "hierro estructural". Por consiguiente, necesitamos acero-hierro estructural y cerámica para el sistema, materiales que nos pueden proveer las siguientes industrias ecuatorianas: (Tabla 6-1).

SISTEMA DE ELECTRODOS COLECTORES.- Placas de concreto se pueden usar, pero por su excesivo peso, se descarta. También se podría emplear para el sistema: placas lisas de asbesto cemento por su excelente resistencia a la corrosión pero no es muy usual por el problema del reingreso severo del polvo, que genera, al flujo de gas.

T A B L A 6-1

ACERO Y HIERRO ESTRUCTURAL	CERAMICA
1) Acerías del Ecuador C.A. (ADELCA) Aloag (Hierro estructural)	1) Industria Cerámica Nacional S.A. (ICENSA) -Cuenca- (Vasillas - "Aisladores eléctricos" Artefactos sanitarios y azulejos).
2) Acerías Nacionales del Ecuador S.A. (ANDEC) - Guayaquil - (Hierro estructural)	2) Ecuatoriana de Cerámica C.A. - Riobamba - (Azulejos - Ladrillos - refractarios" - "Piezas especiales".)
3) Aceros Pretentor del Ecuador C.A. Guayaquil - (Varillas de Hierro estructural).	
4) Ecuatorian Minerals - Guayaquil - (Hierro - acero inoxidable - ácido titánico).	
5) Heliacero y Preformados S.A.-Aloag (Heliaceración, modelado y Figura del hierro).	

Para condiciones de funcionamiento especiales, los paneles de los electrodos se pueden obtener fabricados de metales resistentes a la corrosión, como también aleaciones e hipo-aleaciones.

Se ha obtenido resultados excelentes con el uso de "Aluminio" para las placas - electrodos colectores. Por lo tanto, emplearemos "Aluminio" para la construcción del sistema y hierro estructural para su estructura de soporte como en el sistema anterior y según Tabla 6-1.

El aluminio necesitado puede ser proporcionado según Tabla 6-2.

T A B L A 6-2

ALUMINIO

- 1) Ecuatoriana de Aluminio Laminado S.A. Guayaquil (Laminados planos de aluminio).
- 2) Siderurgica Ecuatoriana S.A. Quito (fundiciones de chatarra de hierro, bronce y aluminio, estructuras metálicas, accesorios para maquinaria industrial, balones de gas).

SISTEMA: ENTRADA DE GAS - TOLVAS - CORAZA - TORNILLO SIN FIN - CHIMENEA.

Para el subsistema de entrada de gas: conductos de humo - tabiques directores - placas difusoras, utilizaremos acero, considerando que satisface requisitos para la alta temperatura - (200°C) y corrosión del gas contaminante; acero que será suministrado según Tabla 6-1.

El sub-sistema: Tolvas - coraza, puede ser fabricado de una variedad de materiales. Estos incluyen acero dulce ordinario, acero revestido de plomo, ladrillo y cemento resistente al ácido, concreto colado, carbón, teja, aluminio, madera, hierro forjado, aleaciones de acero, acero revestido de caucho y vinil u otros plásticos revistiendo sobre al acero u otras estructuras de soporte.

La caja del precipitador la necesitamos hermética y de un material resistente a la intemperie, adecuado para instalarse dentro de un edificio o al aire libre. Entonces, la armazón es estándar - coraza y tolvas - construiremos de lámina de acero blando, suministro según tabla 6-1.

Tomamos una envoltura aislante de caucho que con la caja del precipitador forman una cámara continua de acero, puesto a tierra, que encierra por completo a todos los elementos de alto voltaje proporcionando seguridad al personal y el blindaje eléctrico total. Estas fibras de caucho para la envoltura, nos puede proveer: Cía. Ecuatoriana del caucho-Cuenca (llantas - Cámaras, ceniceros - defensas).

Para el transportador "sin fin" lo fabricaremos de acero y la chimenea de planchas de asbesto - cemento, materiales que garantizarán una buena operación, suministrados de acuerdo a tabla 6-1 y tabla 6-3 respectivamente.

T A B L A 6-3

ASBESTO - CEMENTO

- 1) Construcciones Económicas S.A. (CESA) - Guayaquil (materiales de construcción).
- 2) Eternit Ecuatoriana S.A. Guayaquil - (Techados de Asbesto y Cemento).

6.2. TECNOLOGIA DE FABRICACION

SISTEMA DE ELECTRODOS DE DESCARGA.- Los alambres de la corona deben someterse a un tratamiento térmico de recocido para mejorar sus propiedades mecánicas. El trabajado térmico podría verificarse según Tabla 6-4.

La estructura de soporte correspondiente, la obtenemos en perfiles de hierro estructural, cuyo tratamiento de construcción de su configuración: cortadura - union con soldadura y pernos se lo haría en cualquier taller mecánico completo en Maquinas Herramientas (sierra eléctrica - soldadura eléctrica - torno - cepillo - brocas - etc. que se necesita).

T A B L A 6-4

RECOCIDO

- 1) Fundiciones Industriales Guayaquil
- 2) Metalúrgica Ecuatoriana Quito

SISTEMA DE ELECTRODOS COLECTORES.- Los electrodos colectores planares estandar deben estar fabricados a precisión con rodillo, de chapa fina laminada en frío para asegurarse de que son planos y bien alineados.

El trabajado del metal (AL) se lo podría efectuar en: "Ecuatoriana de Aluminio Laminado S.A." - Guayaquil (Laminados planos de Aluminio). Su estructura de soporte, similar al sistema anterior.

Sistema de: ENTRADA DE GAS - TORNILLO SIN FIN.- El "Sin fin" se lo puede fabricar en taller mecánico con la ayuda de la fresadora para sus hilos (dientes) y torno-cepillo para el acabado final.

Con relación a las rejillas difusoras y tabiques directores también en el taller mecánico con Sistema de Brocas para los agujeros del tamaño diseñado anteriormente y fresadora - torno respectivamente.

CAPITULO 7

CONSIDERACIONES DE ENSAMBLAJE, OPERACION Y MANTENIMIENTO

Un criterio generalizado para el montaje de un precipitador eléctrico es que el peso instalado sea aproximadamente 320 Kg. por metro cuadrado para unidades con una área de sección transversal sobre los 0.4 m^2 .

Tenemos esto presente para el ensamblaje de nuestro modelo de $\sim 0.42 \text{ m}^2$ de sección transversal.

El sistema de electrodos: Colectores y de descarga se pueden montar en una misma estructura pero ellos también pueden ser instalados separadamente. Ambos sistemas de electrodos deben ser exactamente montados y alineados para mantener las distancias de alambre - alambre - placa tan cerca de los valores de diseño como sea posible: 5 cm. respectivamente en nuestro modelo en cuestión. El alineamiento de los electrodos será mantenido dentro de un 5% de tolerancia lo cual corresponde aproximadamente a 0.25 cm. para el ducto de 10 cm.

La estructura de alta tensión será suficientemente rígida para mantener estabilidad estructural permitiendo la vibración de los alambres de la corona. La suspensión de los electrodos de la corona es de suma importancia; sus aisladores eléctricos son requeridos para soportar la estructura, además de proveer un nivel suficiente de aislamiento de alto voltaje. El diagrama 7.1 nos muestra una forma del proceso ensamblaje del sistema de electrodos de descarga.

El sistema colector conectado a tierra se fija a paneles de los electrodos, colocados con mucha precisión en una plantilla que ocupan todo el espacio adecuado.

Para instalar el bloque de suministro de energía hay que colocarlo en su lugar, atornillarlo - cerrarlo y conectar los conductores externos. Con relación al arreglo de la distribución de energía podemos también probar otra forma posible, como se ve en Diagrama 7.2.

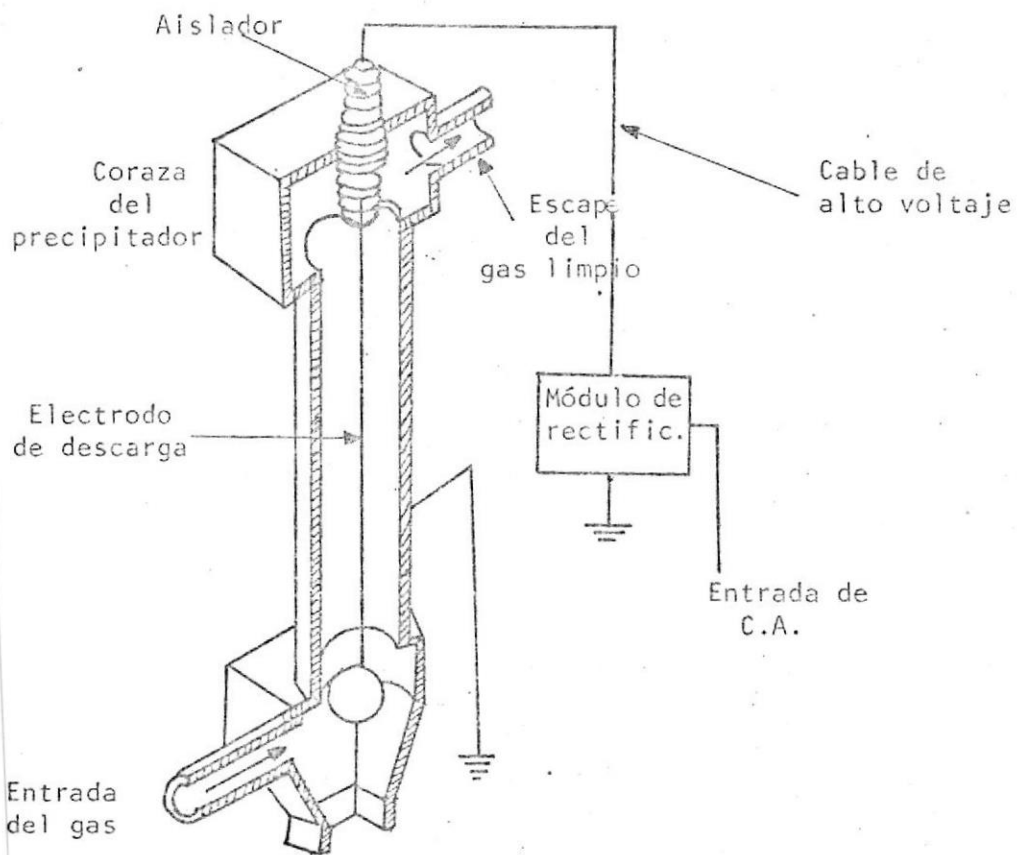


DIAGRAMA 7-1

El bloque de energía está con siderado para adaptarse a las pre ferencias de instalación de arre- glos posibles, las siguientes po- siciones son las que se suelen a- doptar en la práctica:

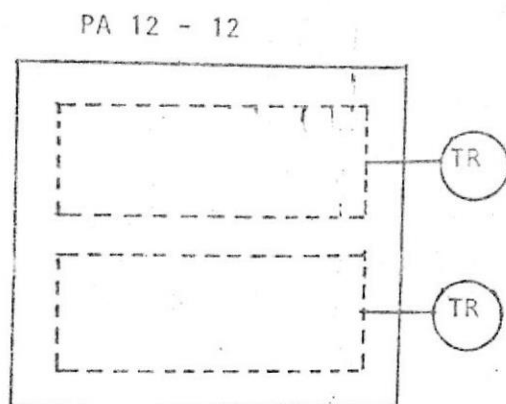


DIAGRAMA 7-2

Que el gabinete de control re moto esté incorporado al centro principal de control o a uno secundario con los controles del sistema de eliminación del polvo de desechos. El reactor de núcleo saturable se coloca cerca pero no al lado del Gabinete de control remoto, en una zona de buena ventilación para que se disipe el calor. El rec tificador - transformador se monta en el techo del precipita- dor en un lugar especial escogido con el fin de simplificar y acortar la barra colectora hueca (ésta, conectada a tierra, - proporciona protección eléctrica entre la unidad (TR) y la en voltura aisladora de alta tensión), facilitar el apoyo estruc tural, el acceso y la substitución.

El transformador es íntegramente conectado a los rectifi- cadores de Silicio. La salida del sistema monofásico puede ser rectificado para cualquier tipo de corriente directa: en Onda completa o Media Onda (en el modelo).

Para asegurarse de que la caja sea completamente hermética, las puertas de inspección deben tener "juntas obturadoras" y esta dentro de una envoltura aislante sellada.

En nuestro caso, un soporte adicional como estructura de

fundación no es requerido para la instalación.

El precipitador en estudio debe tener muchas características planificadas para facilitar la inspección y el mantenimiento. Algunas de estas características que contribuyen directamente a la confianza en su funcionamiento son:

Vibradores y dispositivos para el desprendimiento del polvo montados en el techo para que se puedan inspeccionar y ajustar fácilmente.

Los porta-aisladores de alto voltaje montados en cajas aislantes individuales, instaladas en el techo proporcionan ventajas durante la operación de funcionamiento:

- A. Los aisladores están lejos de la corriente del gas.
- B. Los aisladores se pueden inspeccionar, limpiar o substituir sin intervenir en la caja.
- C. Los aisladores están protegidos del polvo por recubrimiento conectado a tierra.
- D. Para servicios especiales, los aisladores se pueden proteger con un lavado continuo con aire seco caliente.

Techo protector con vigas de acero de una sola pieza.

Módulos de electrodos colectores suspendidos de rejillas protegidas contra el choque.

Electrodos de descarga suspendidos de rejillas soldadas en el taller, que se mantienen en su posición exacta por medio de 4 porta-aisladores de alto voltaje.

Alambres de electrodos de descarga adaptados especialmente

en ambos extremos para garantizar buen contacto eléctrico, para evitar que se quemen y para que duren.

Techo protector, paredes y tolvas de diseño exterior sencillo para facilitar la aplicación y continuidad del aislamiento térmico.

Localización automática de un alambre roto por el peso inclinado visible desde la tolva.

Tolvas piramidales equipadas con puertas de acceso lisas, mirillas, ángulos de vértice empujados y salidas amplias bordeadas. Las tolvas pueden ir equipadas con indicadores del nivel del polvo.

Las puertas entrecruzadas y con cerraduras de seguridad, se abren rápidamente y dan acceso sin peligro por la parte del techo o por los lados al interior de la caja en pasajes de tamaño adecuado arriba, abajo y entre cada uno de los campos de descarga de alto voltaje.

Con respecto a la limpieza eficaz de los electrodos sin bocanadas podemos decir, que inclusive en aquellos casos en que las condiciones de trabajo son relativamente estables, es importante que el programa de desprendimiento del polvo tenga en cuenta la gran diferencia que existe en la situación del funcionamiento a la entrada del precipitador y cerca de la salida. Si se divide la superficie colectora total del precipitador en pequeños módulos de electrodos colectores aislados contra el choque, resulta práctico aproximarse lo más posible al ideal en que cada cm^2 no sea sacudido ni más a menu

do ni con más energía de lo necesario para limpiar dicho cm^2 del electrodo colector.

Los problemas y dificultades que se presentan del precipitador pueden ser divididos dentro de 3 tipos principales: fundamentales, mecánicos y operacionales, varios de ellos se indican a continuación:

A. Fundamentales:

1. Alta resistividad de las partículas
2. Reingreso de las partículas colectadas
3. Flujo de gas pobre
4. Equipo inadecuado de vibración para desempolvamiento
5. Mal diseño del sistema de electrodos
6. Equipo eléctrico de alto voltaje insuficiente
7. Número insuficiente de secciones de alta tensión en el precipitador.
8. Precipitadores de muy pequeño tamaño.
9. Circuitos inestables de alto voltaje.

B. Mecánicos

1. Pobre alineamiento de los electrodos
2. Vibración o inclinamiento de los electrodos de la corona
3. Placas colectoras distorsionadas.
4. Depósitos excesivos de polvo sobre los electrodos.
5. Tolvas llenas o de superflujo
6. Infiltración de aire dentro de las tolvas, coraza o ductos de gas.
7. Amontonamiento de polvo en las conexiones de los ductos de gas.
8. Escurrimiento del gas a través de las tolvas y alrededor

de las zonas del precipitador.

C. Operacionales.

1. Mal ajuste del suministro eléctrico.
2. Flujo de gas excesivo a través del precipitador
3. Carga excesiva de partículas en el gas.
4. Trastornos en el proceso (ejemplo: en el horno rotatorio)
5. Mal ajuste de la intensidad o frecuencia de la vibración de desempolvamiento.

Para asegurar el rendimiento óptimo, las partes internas del precipitador deben ser mantenidas lo suficientemente limpias - para prevenir saltos de chispas fuera del rango normal. En adición a esto, los voltajes tienen que ser operados dentro de sus propios rangos también, y los espacios de placa y alambre tienen que ser mantenidos dentro de tolerancias razonablemente pequeñas.

Los alambres de la Corona de descarga se corroerán lentamente y ocasionalmente deben ser reemplazados. Alambres de acero inoxidable pueden usarse si existen condiciones corrosivas críticas.

Para la construcción de Al (sistema dolector), en su limpieza total y desmontado del precipitador detenido se recomienda solución cáustica bastante diluída.

El bloque herméticamente sellado del transformador-rectifi-cador protege y enfría a las partes internas, sumergidas en aceite o en un líquido aislante no inflamable como el askarel.

Como no hay partes móviles que se desgasten, la unidad no precisa lubricación ni substituciones caras de elementos y el

bloque sellado prácticamente no necesita mantenimiento, 'excepto revisar rutinariamente la resistencia dieléctrica del enfriador.

La coraza del precipitador debe ser lavada, periódicamente para eliminar "polvo clinker" depositado.

El tiempo promedio de limpieza total del precipitador de clinker se estima de 6 a 12 hombres-hora por mes para una unidad de $\approx 11 \text{ m}^2$ de área de sección transversal.

En el modelo en estudio una reducción de $\sim 1:25$ hombres - hora para los 0.42 m^2 de sección transversal del equipo.

CAPITULO 8

ANALISIS ECONOMICO

Con respecto a la problemática de la Contaminación Ambiental, ha hecho que el hombre recapacite y comprenda que los recursos naturales, que han sido su medio de supervivencia, no son una fuente inagotable, por otra parte, si la naturaleza en sí, se desenvuelve en un marcado equilibrio entre degradación y recuperación de sus elementos, ha sido el mismo ser humano el que ha roto ese equilibrio por el uso indiscriminado de ellos; y para restaurar ese equilibrio requerirá de mayores esfuerzos e "inversiones económicas".

La importancia del asunto: "Metas de los diferentes programas de control de calidad ambiental", es incalculable debido a que es la única o la forma más eficaz de convencer al sistema Gubernamental o a la Sociedad propiamente, de la conveniencia de invertir recursos, tanto humanos como materiales, en el control de la calidad ambiental.

Uno de los grandes problemas tanto de los países desarrollados como en vías de desarrollo, como el nuestro: Ecuador, es la competencia de los recursos disponibles por las diversas necesidades del país. ¿Que es desde el punto de vista del bienestar social más conveniente que el Gobierno del Ecuador decida invertir cierta cantidad de suces en el control de la Contaminación Ambiental (aire, agua, suelo) o que los invierta en digamos, la educación pública?. La contestación inmediata a esta interrogante es obvia si tenemos presente que "el impacto económico más relevante de la Contaminación Ambiental es

el que se refiere al deterioro de su capacidad creadora".

El encontrar la calidad ambiental requiere la inversión de unos Recursos, los cuales los podemos expresar fácilmente en términos de Sucres. Si por ejemplo: tenemos la fábrica de Cemento, la cual emite principalmente material particulado como Contaminante del Aire, el controlar esa emisión requiere la instalación de un equipo de Control, la modificación del proceso, o ambas cosas, lo cual cuesta dinero o conlleva a lo que llamamos un "Costo de Control".

El costo de Control aumenta con el grado de control requerido y dicho aumento no es Lineal, sino exponencial, como se muestra en el Diagrama 8.1. Debido a que la calidad del Aire en las inmediaciones de la planta en lo que respecta a la concentración del material particulado, es función directa de la cantidad de emisión, podemos tener en la abscisa grado de control o nivel de calidad del aire, ambos aumentando hacia la derecha. Este tipo de función, para cualquiera de los contaminantes comunes del aire, es fácil de definir pues el mismo depende prácticamente de la capacidad y tipo de equipo, de la energía eléctrica necesaria para operarlo, la mano de obra, depreciación, etc.

Teniendo entonces el Costo de Control, sería necesario para completar nuestro análisis calcular lo que se denomina como el "Costo Ambiental".

Por Costo Ambiental se entiende el valor económico de los daños causados por la contaminación a varios niveles. Esto podría comprender reducción en la producción agrícola, daños

causados a materiales, costo de servicio de salud causado por la contaminación. etc. A continuación se muestra en Tabla 8.1 el costo ambiental anual verificado en Inglaterra (en un promedio estadístico de un número de años reciente: Década 60-70, datos tomados de una fuente de información: Instituto Politécnico relacionado con un Departamento de Investigación de Contaminación Ambiental en Londres).



DIAGRAMA 8-1. Relación entre costo de control y nivel de calidad o grado de control

T A B L A 8.1

COSTO ANUAL DE CONTAMINACION EN INGLATERRA

De acuerdo a informe "BEAVER"

CATEGORIA	\$/año millones	% Aproximado
Limpieza de ropa	125	10
Limpieza y depreciación de edificios (sin incluir casas).	100	8
Corrosión de Metales	125	10
Daño a Textiles	263	21
Pintura y decoración	150	12
Pérdida de eficiencia (operación de facilidades de transportación, rieles de acero, etc.)	500	40

Esta tabla serviría de ejemplo para llevar a cabo en nuestro país una investigación de tal naturaleza y determinar Cos

to Ambiental.

Una característica común de dichos costos es que en términos generales también varían exponencialmente, aunque inversamente con el grado de Control o nivel de calidad del Aire. El Diagrama 8.2 nos muestra un caso hipotético para el ejemplo de

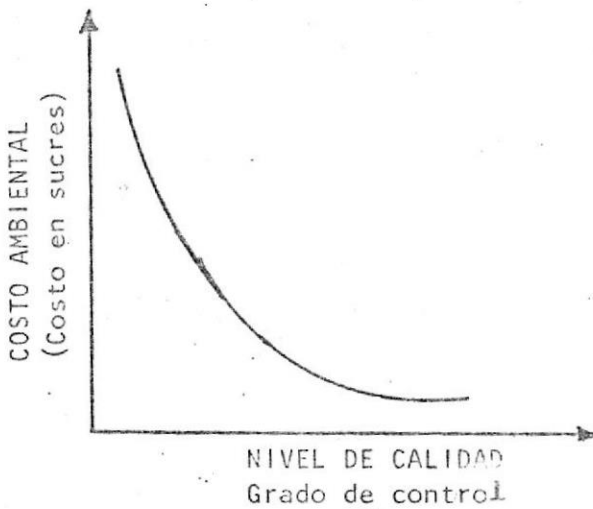


DIAGRAMA 8-2.- Relación entre costos Ambientales y nivel de calidad o grado de Control.

la planta de cemento - mencionada anteriormente.

El problema sería entonces, que grado específico de control o de Calidad del Aire debe ser la meta de un programa de control de calidad del Aire.

Un criterio conservacionista exigirá a un grado de Control o nivel de calidad X_1 , que mi-

minimice los daños ambientales a un costo CA_1 correspondiente a un costo de Control CC_1 . Por otro lado, el criterio empresarial industrial, cuyo propósito primordial es maximizar sus ganancias netas, es muy probable que estos seleccionen un nivel de calidad o grado de control X_2 , el cual minimice su costo de control, a nivel CC_2 y produzca un costo Ambiental correspondiente CA_2 (Ver diagrama 8.3).

El análisis correcto ha hacerse para la selección de cual sería el grado de control o nivel de calidad óptimo a exigirse sería como sigue:

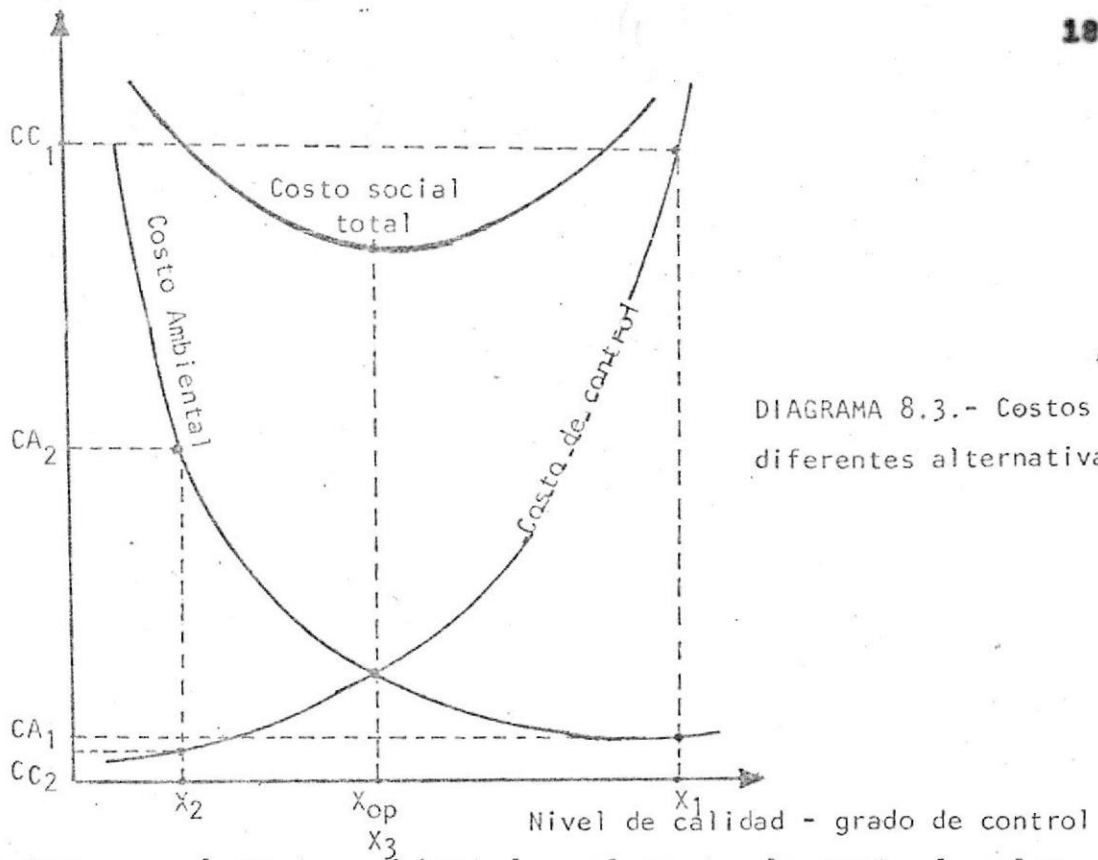


DIAGRAMA 8.3.- Costos de diferentes alternativas

Si tomamos el costo ambiental y el costo de control y los sumamos obtenemos lo que se conoce como "El costo Social total". Este costo implica cuanto pagaría la sociedad como tal, vista desde afuera, e incluyendo tanto al industrial como los afectados por la contaminación resultante.

Desde el punto de vista social, ese sería y no el Costo de Control o el costo ambiental, el costo que debía minimizarse. Dicha minimización ocurre cuando el costo de control es igual al Costo Ambiental, correspondiente a un nivel de calidad o grado de Control X_3 , el cual debe ser entonces la meta del programa de Control de Contaminación. Un nivel de calidad a la derecha de dicho punto óptimo, implica que por cada sucre adicional que se invierte en costo de control recibiremos menos de un sucre en cuanto a reducción de costo Ambiental lo que no sería económico. Un nivel de calidad a la izquierda de dicho punto implica que para cada sucre que dejemos de invertir o economicemos en costo de Control, estaremos pagando más de un sucre en Costo Ambiental, lo que tampoco es económico.

Desgraciadamente la dificultad máxima en cuanto a la a-

plicación de este análisis, es la elaboración de la función Costo Ambiental. Sin embargo, que sea difícil no implica que sea imposible y en varios países ya se está laborando arduamente para la definición de la misma en casos particulares. El programa de control de calidad del aire aquí en Ecuador debe necesariamente contemplar este análisis.

Al diseñar un Sistema de tratamiento del Aire de una industria, se incluye un paso básico: "Avalúo Económico" que permite la valoración del problema de contaminación y del diseño del sistema de Control. Después de terminar la valoración de Ingeniería del sistema de control de la Contaminación, hay que hacer un avalúo económico de las alternativas correctivas y del tratamiento propuestas. La base del estudio Económico incluyen los principios comunmente empleados en los avaluos de las mejoras de la fábrica: un balance de los Costos de instalación y de las operaciones.

En las tablas 8.2 y 8.3 se describen en más detalle los métodos.

T A B L A 8.2

SISTEMA DE CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE Forma para Avalúo Económico

SISTEMA:

Costos Fijos (Tabla 8.3: Sección B)

Costos de funcionamiento anual:

Servicios de:

Combustible
Electricidad
Agua
Vapor de agua
Aire a presión

Productos Químicos:

Mano de obra y supervisión

Mantenimiento

Eliminación del Contaminante colectado

Costos totales de funcionamiento:

Valor de los productos químicos recuperados:

Costos anuales totales:

T A B L A 8.3

FORMA PARA CALCULAR LA INVERSION DE CAPITAL

A. Costos totales

Terreno $\$/m^2$

Desarrollo del local

Costos del Equipo y del Material:

Sistema de escape

Equipo de control

Equipo Auxiliar

Instrumentos y controles

Instalación eléctrica

Tuberías

Cemento armado

Estructura

Pintura

Aislamiento

Instalación del equipo

Edificación del control

Equipo de Laboratorio

Instalaciones para tratamiento secundario de residuos

Subtotal

Ingeniería. Derechos de construcción y gastos generales.

Puesta en marcha

TOTAL \$

B. Costos fijos

Depreciación Anual de la inversión de Capital (Sección A) durante la vida de la instalación; años.

Recargo al capital

Interés

Impuestos

Seguro

Costos totales fijos por año \$

Los puntos importantes de este tipo de Avalúo son:

1. Duración útil esperada del equipo.
2. Costos de instalación del sistema
3. Costos de servicios y productos químicos requeridos para o perar el sistema.

Dentro del programa establecido en el Plan Nacional de Sa^uneamiento Ambiental, para la evaluación y control de la Conta^minación Ambiental y que se encuentra en marcha, el mismo que tendrá una duración de 3 años. Sus objetivos generales y espe^ccíficos fueron ya analizados en primera parte de esta memoria. El costo aproximado a cumplirse hasta el fin del trienio alcanza la cantidad de 40'000.000 de sucres, de los cuales un 70% de este valor será financiado con los fondos del Programa Nacional de Saneamiento, y aportaciones específicas del Go^bierno Nacional; y el 30% restante con aporte de Organismos In^{te}rnacionales.

Como ya se observó en Cap. 2 que: para la planificación del programa se ha seguido los Lineamientos que el PNUD (Programa de NN.U.U.) y la OPS/OMS (Organización Panamericana y Mundial de la Salud) han utilizado en programas semejantes en otros países. Por otro lado se están encaminando gestiones pa^{ra} conseguir la ayuda técnica y financiera del PNUD en un pro^yecto de Servicio Social conjunto con el Ministerio de Salud Pública y el IEOS. Este programa tendrá un costo global aproximado de 37'000.000 de sucres en el cual las contribuciones -

del Gobierno y de PNUD serán de aproximadamente 50% cada una y tendrá una duración de 3 años.

Aunque al tratar de reparar daños infringidos al medio Ambiente, procurando reducir al mínimo posible el Costo del deterioro Ambiental en el desarrollo futuro, representará un factor adicional en los Costos de producción.

Por la experiencia obtenida en países industrializados, algunos de los cuales ya han tenido serios problemas al respecto, se puede conocer que la lucha contra la Contaminación, cuesta dinero y debe abandonarse la esperanza de que el Gasto por su prevención y control por más que se lo haya planificado a su debido tiempo, puede ser absorbido por los industriales en desmedro de sus intereses: es el público consumidor el que forzadamente tiene que pagar este incremento como un sobre precio de los artículos de consumo, para que los programas de prevención y control tengan éxito.

Resulta difícil precisar en cifras el impacto que una campaña pro-saneamiento Ambiental tenga sobre los Costos de Producción, además no se dispone de experiencia en este campo. Inciden además muchos parámetros para ello: el grado de pureza a conseguir, el tipo de Industrias que se trate, las condiciones políticas, físicas y religiosas del lugar.

Lo único que se podría añadir es: "Todo anhelo o aspiración tiene su costo"; si deseamos disfrutar de una mejor calidad de recursos, tendremos que pagar su precio por lograrlo; caso contrario tenemos que conformarnos con usar recursos

de inferior calidad, con el consiguiente incremento de muertes, enfermedades, molestias y daños económicos.

Con relación a los Costos de instalaciones de precipitadores eléctricos en las diferentes aplicaciones existe variación de costos dependiendo sobretodo del tamaño, tipo de polvo y eficiencia requerida. Se estima aproximadamente que para polvo de hornos de Cemento Portland cabe un rango de Costos de \$ 6.000 - \$ 9.000 (Suces) por $m^3/\text{min.}$ del gas, que se desea limpiar, considerando construcción total en Ecuador, es decir, restando transporte y derechos aduaneros en el caso de importación como producto total o semi-manufacturado.

Los estudios preliminares de Ingeniería con su respectivo modelo construído permitiría, mostrar futuros Costos de instalación en el proyecto final, porque así se pueden valorar los materiales de construcción durante los estudios piloto.

Los Costos: Del sistema de ductos para y del precipitador, de las fundaciones, y de los servicios auxiliares al precipitador, son agregados al costo instalado del precipitador mismo.

Los factores que afectan el Costo del precipitador se incluyen: el suministro de energía (para transformador - rectificador, control automático del voltaje - número de secciones energizadas individualmente y tantas otras), el diseño especial de las placas, las características eléctricas del polvo, la eficiencia requerida de recolección y materiales especiales o tipos de construcción necesitada para resistir la corrosión o desgaste.

Un criterio reciente para energización óptima es proveer un máximo rendimiento total del precipitador a los más bajos Costos totales.

Cabe indicar que, el equipo eléctrico de alto voltaje no excederá en 25% del Costo total, una situación lo cual permite amplitudes considerables en las variaciones del Diseño en el balance entre el equipo eléctrico y el precipitador mismo.

CAPITULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego del brevísimo análisis de la problemática del Medio Ambiente de nuestro país, Ecuador, referido específicamente a la Contaminación del Aire, llegamos a las siguientes conclusiones - Recomendaciones:

1. Que la actividad humana en general, incluyendo los aspectos domésticos, Industriales y del transporte, contribuyen a la contaminación del Aire y que el deterioro que ocasionan está en incremento dado el proceso de desarrollo acelerado que experimenta el país.
2. Que la Contaminación del Aire afecta a la salud, el bienestar del hombre, a su economía, y produce daños a la flora y a la fauna, por lo que se justifica se le preste una atención urgente.
3. Considerando que estamos en una etapa en que, sin haber salido del subdesarrollo, confrontamos al mismo tiempo y en muchos aspectos problemas del desarrollo; pero tenemos que buscar un adecuado equilibrio entre las necesidades del crecimiento e industrialización por una parte, y los de preservación del medio ambiente por otra, habida cuenta que lo que se haga en la lucha contra la contaminación, no representa un sacrificio si va en beneficio de la salud del hombre.
4. Que los problemas relativos al desarrollo y a la Contaminación Ambiental son de carácter Nacional en su gran mayoría

y será necesario que se lo resuelva con un alto espíritu de justicia social y de solidaridad entre los pueblos, - sin que constituya un freno a nuestro desarrollo, pues se deberá comprender que las inversiones económicas que acusen su restauración, preservación y control por parte del Gobierno serán cada vez mayores de no tomarse medidas a tiempo, incrementando de esa manera los rubros de res-tauración que de otra manera podrían ser utilizados en obras de infraestructura que beneficien a la Comunidad.

5. Que toda emisión o descarga de Contaminante al Aire es perjudicial en grado relativo, por lo tanto, se debe tener presente que:
 - a) Controlar la emisión conlleva unos costos; y
 - b) El medio Ambiente tiene una "Capacidad Asimilativa" (mayores detalles ver Apéndice Cap. 10) que debe considerarse como recurso natural de control.
6. Que la industria gasta anualmente mucho dinero en el mantenimiento preventivo de la apariencia física de sus propiedades y, sin embargo, con su contaminación corroe la maquinaria y decolora la pintura que paga; por consiguiente tiene que empezar a considerar la disminución de la Con-taminación del Aire como una ganancia económica y no una pérdida.
7. Que el IEOS y otros organismos han elaborado proyectos pa-ra combatir la Contaminación Ambiental que no pueden po-nerse en ejecución sistematizada por falta de una finan-ciación adecuada.

8. Que no se dispone en el país de un personal adiestrado en número suficiente, ni de los equipos necesarios, para establecer cuantitativamente las reales dimensiones de los problemas de Contaminación del Aire.

Con estas consideraciones, nuestra línea de Acción estaría encaminada no a propender el uso indiscriminado de nuestros recursos ambientales, como se ha hecho en otros países que no tenían esta triste experiencia de sus defectos, pero tampoco adoptar a ciegas medidas de "Sacrificio" en defensa de un ambiente casi virgen, que frenarían este incipiente desarrollo nuestro; medidas indispensables en otros países, y que no se deben universalizar.

La solución general al problema consiste en una educación a todo nivel, a todo el conglomerado social de productores y consumidores, que debe conocer, aceptar y estar consciente de la importancia de mantener la calidad Ambiental en óptimas condiciones. La educación de los profesionales de todas las Ramas, cuyo conocimiento especializado será la obligatoria voz de alerta para el mantenimiento del justo equilibrio entre el desarrollo y la degeneración del ambiente. Instrucción constante y actualizada de los técnicos que trabajan en este campo, cuya responsabilidad mayor está en alertar a las autoridades que tienen relación con el desarrollo del país para que estén conscientes de la necesidad de requerir asesoría especializada para la defensa del medio Ambiente. De esa manera, no se aceptaría indiscriminadamente la creación de nuevas fuentes de trabajo, agrícolas o industriales, que representan atractivos ingresos económicos del país, y que son ex

portados por países desarrollados que ofrecen condiciones generosas de crédito, quizás porque sus residuos altamente Contaminantes impiden su funcionamiento.

Como una medida a adoptarse en Nuestra lucha por preservar nuestro Medio Ambiente sin sacrificar nuestro proceso de industrialización será sin lugar a dudas el de la "Descentralización Industrial" y el desarrollo regional que permita abrir polos de desarrollo para un desenvolvimiento más homogéneo y mejor distribuido de nuestros habitantes; para lo cual el Gobierno debería realizar obras de infraestructura en estas zonas; crear Comisiones encargadas de promover el desarrollo regional y adoptar una política educativa con fines a fortalecer la enseñanza y asistencia técnica; crear incentivos fiscales y creditivos para estimular el desplazamiento de industrias situadas en zonas de gran concentración industrial a regiones de menor desarrollo, así como para el asentamiento de nuevas industrias en estas nuevas áreas. Estableciendo además gravámenes y cláusulas pro-descontaminación a los que se mantuvieren en zonas no especificadas como industriales.

Incentivar el sistema de trenes eléctricos subterráneos - para Quito y Guayaquil como medio de transporte colectivo y de Control de Contaminación Atmosférica. Otra medida fiscal para combatir la Contaminación constituiría los subsidios y exoneraciones a la importación de equipo destinado a suprimir o atenuar la expedición de polvos y humos que contaminen el ambiente.

Solicitar al Gobierno Nacional la inclusión en el presu-

puesto del Estado a partir de 1977 las partidas necesarias para permitir la ejecución bien planificada de las actividades de evaluación, prevención y control de los daños ambientales.

Solicitar al Gobierno Nacional, que como una forma de contribuir al financiamiento de las actividades de protección Ambiental, prepare y promulgue una Ley que exija a las industrias una contribución, proporcional a su capital y a la magnitud de los problemas que ocasionen, la que se destinará exclusivamente a los programas de protección ambiental y a la realización de las investigaciones necesarias para llevarla a cabo.

Solicitar al IEOS el desarrollo de un programa de mediciones suficientes para establecer cuantitativamente la magnitud real de los problemas de Contaminación y para recolectar los datos que permitan establecer límites para las diversas actividades.

Con respecto al estudio realizado en el anteproyecto del precipitador electrostático, se deduce las siguientes conclusiones con las consecuentes recomendaciones:

1. Que la precipitación eléctrica es apropiada para la recolección de un amplio rango de polvos y humos.
2. Que la tecnología de la precipitación eléctrica puede ser convenientemente clasificada dentro de las siguientes fases: Fundamentos y teoría - Diseño básico y componentes - Integración dentro de los Sistemas de la planta - Diseño mecánico-Operación y Control.

3. Que el diseño de un precipitador eléctrico requiere considerable experiencia profesional para una buena aplicación en una industria en particular.
4. Que un precipitador eléctrico bien diseñado, mantenido y operado apropiadamente dentro de los límites de diseño rendirá consistentemente en o arriba de las eficiencias de diseño durante su vida de servicio. La pérdida de la eficiencia es comunmente causada por sobrecarga, cambios en el proceso - mantenimiento inadecuado.
5. En general se puede decir que la capacidad de separación del polvo, en precipitadores eléctricos de alto voltaje aplicados a plantas de cemento, es mejorada por: el grosor de las partículas del polvo - La humedad del polvo y gas - la conductividad eléctrica - La caída de la temperatura de actividad y su acercamiento a la temperatura de liquefacción del gas.
6. Para la planificación de una instalación garantizada de despolvamiento, los datos acerca de cantidad de gas, contenido de polvo del gas en bruto, humedad del gas de escape, composición química del polvo, temperatura del gas de escape, etc. se deben dar generalmente con sus límites superiores e inferiores.
7. Resulta preferible obtener datos y pruebas para el diseño definitivo de este equipo por medio de "Modelos piloto a escala". En estas circunstancias se pueden obtener continuamente datos y el proyecto final del precipitador eléctrico en óptimas condiciones se convierte en un problema de adap

tación del mismo a la escala real. Razón por la cual el mo
delo experimental en estudio como justificación del mismo
para su aplicación en la industria del cemento.

Las recomendaciones al respecto es que con el estudio rea-
lizado para la construcción básica del modelo experimental de
precipitador electrostático de capacidad señalado anteriormen-
te, sirva como orientación y fuente de información precisa ob-
jetiva para el proyecto final de instalación en una industria
del cemento de cualquier capacidad especificada.

Es necesario un trabajo de equipo entre los Ingenieros pro-
yectistas y la industria que requiere de la instalación para
así obtener una medida exacta del filtro electrostático ade-
cuado.

Finalmente, se propone en proyección futura, a nivel priva-
do o estatal, iniciar los primeros estudios de prefactibilidad
para la instalación de una planta de fabricación total de pre-
cipitadores electrostáticos, de aplicación variada en la in-
dustria primero como proyecto orientado a substituir importa-
ciones, luego con miras de exportación encuadrándose dentro de
la programación industrial a nivel de PACTO ANDINO (Mayores de
talles Apéndice Cap. 10) o cualquier otro de mayor alcance in-
ternacional en la medida de las posibilidades de mercado. Así
incluso este proyecto generaría nuevos proyectos, por lo tan-
to, nuevas fuentes de trabajo y mejor nivel de vida de nuestra
Patria, Ecuador.

CAPITULO 10

APENDICE - TABLAS - DIAGRAMAS - REFERENCIAS

APENDICE

1. IONES Y NUCLEOS AITKEN.- Son tanpequeños que nunca se depositan fuera de la atmósfera debido al movimiento Browniano producido por las colisiones con las moléculas individuales de los gases. Cuando chocan unas con otras, o con otras partículas, se adhieren, transfiriendo su carga en el caso de los iones, a la más grande. La luz visible se encuentra en una longitud de Onda varias veces mayor que 0.1 micra y no es dispersada a un grado perceptible. El peso total de los iones y núcleos Aitken, en cualquier momento, constituyen una fracción muy pequeña de la carga total de partículas a la atmósfera.

Los iones son sencillamente moléculas de gas o grupos de moléculas de gas que adquieren una carga eléctrica positiva o negativa, debido al efecto de las radiaciones solares o cósmicas. Su promedio de vida es inversamente proporcional al número de partículas diferentes que se encuentran en la zona, y en consecuencia, se encuentran mucho menos en las zonas urbanas que, por ejemplo, por encima del océano. Se combinan rápidamente una con otra o con partículas sólidas o líquidas al entrar en contacto. Se sabe muy poco de las propiedades o efectos de los iones, excepto que la conductividad eléctrica de la atmósfera depende del número presente de estos pequeños y movibles iones. No se ha descubierto ningún efecto fisiológico ni psicológico en el hombre.

Reciben el nombre de Núcleos Aitken, investigador que descubrió una técnica para contarlos basada en la condensación del vapor de agua. Sin embargo, se cree que no intervienen en la formación de nubes.

2. EFECTO DE PARTICULAS EN HOJAS DE PLANTA.- Debido a que la mayor parte de los daños causados por la contaminación del Aire sobre las plantas ocurren en las Hojas, conviene repasar brevemente la estructura de la hoja y sus funciones.

La función principal de la hoja es alimentar a la planta. Las hojas verdes contienen clorofila, la cual con la ayuda de la luz Solar produce compuestos, azúcar, u orgánicos, Agua y O_2 , del dióxido de Carbono. Los líquidos se transportan de las venas, las cuales conectan la hoja con el tallo, y a la vez proveen resistencia estructural a la Hoja.

Observando un corte seccional de una hoja, las células de la epidermis inferior no contiene clorofila, excepto las células guardianes que rodean unas aberturas en las hojas llamadas "ESTOMAS" a través de la cual ocurre intercambio de gases entre la hoja y el medio Ambiente. Las células guardianes tienen la capacidad de controlar el cerrar y abrir las estomas según varían la intensidad de la Luz Solar. La superficie superior está cubierta por una capa, la cual contiene una substancia cerosa llamada cutina a través de la cual puede pasar la Luz Solar, pero que reduce la evaporación del agua en la hoja y la protege de Contaminantes abrasivos y de los insectos.

3. CAPACIDAD ASIMILATIVA DEL MEDIO AMBIENTE.- Es muy común el

oír decir que la causa principal del deterioro ambiental es que el hombre ha lanzado cantidades tales de Contaminación que ha excedido la capacidad del ambiente para recibirlo sin que ocurra Contaminación o que la razón de emisión ha excedido el poder de autopurificación de la naturaleza. Tomemos como ejemplo, para poner el término en la perspectiva correcta, en caso de Contaminación Atmosférica. Supongamos que en un lugar dado tenemos una fábrica de Cemento la cual emite material particulado a una razón Q en gramos/hr. continuamente. Supongamos además que tenemos un volumen de atmósfera dada, que se extiende en todas direcciones en la horizontal alrededor de la planta y verticalmente hasta una distancia dada, definiendo de esta forma físicamente nuestro Ambiente de interés. Usando como parámetro de Medición de Calidad de Aire la concentración resultante del material particulado en esa atmósfera, medido en términos microgramos por m^3 de aire y estableciendo, como el nivel de calidad deseado máxima de C_{max} tenemos entonces que la Concentración resultante C es función:

- A) De la razón de emisión de Material particulado, Q_E .
- B) De la razón a la cual ese material sea removido de nuestro volumen de atmosfera o ambiente, Q_R . . . $C = F(Q_E, Q_R)$.

Los mecanismos que en este caso remueven el material particulado del ambiente serían tales como el viento, la deposición debido a la fuerza de gravedad o a la lluvia.

Si Q_R , la razón a la cual se remueve material particulado del ambiente natural, es exactamente una medida de la

"Capacidad Asimilativa" del medio ambiente. Dada una Q_R entonces usando como criterio de calidad la concentración - máxima permitida de material particulado, vemos entonces - que: $C_{max} = F(Q_E)$. La concentración máxima es función exclusivamente de la razón de Emisión Q_E .

Es sin embargo, extremadamente importante el entender que no todos los lugares tienen el mismo Q_R , o capacidad asimilativa, sino que hay factores topográficos o climatología que aceptan el mismo. Además de esto no todos los contaminantes de Aire son inertes sino que hay algunos que reaccionan en el Aire desapareciendo o formando otras substancias, factores estos que habrían que considerar al tratar de describir o medir la "Capacidad Asimilativa".

4. ELECTRODOS CILINDRICOS.- ECUACIONES.- Las características corriente - voltaje para la corona de descarga son funciones de muchas variables de las cuales las más importantes son: composición del gas, temperatura y presión del gas, geometría del electrodo, forma de onda y polaridad del Voltaje, películas de partículas sobre los electrodos y suspensiones de las partículas en el Gas.

Las ecuaciones de la corona pueden ser derivadas teóricamente para electrodos cilíndricos concéntricos limpios en gases tales como Aire. Cálculos muy aproximados también son posibles para placas paralelas simétricas o sistemas de electrodos de ducto usado en precipitadores tipo-placa, pero, para la mayoría de otros casos, las características deben ser determinadas experimentalmente.

Sin embargo, los mismos principios generales se aplican

todos los sistemas de electrodos, aunque las matemáticas es factible solo para las geometrías más simples.

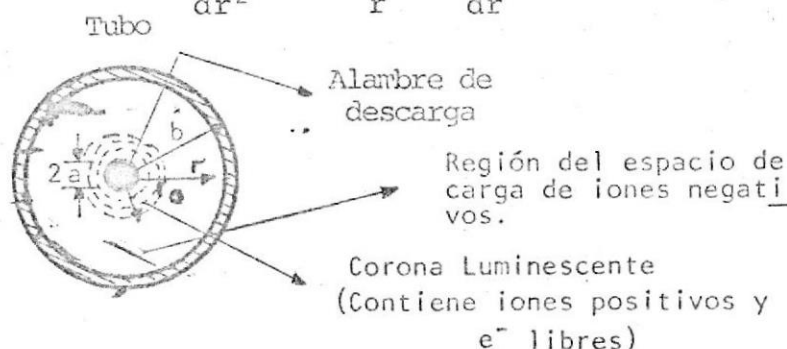
Para los electrodos cilíndricos concéntricos, la corriente de la corona entre un alambre y el cilindro coaxial puede ser calculada asumiendo que la región activa pequeña o luminiscente cerca del alambre actúa solo como una fuente iónica y que el espacio restante es llenado por iones unipolares. En el caso de corona negativa, la corriente puede incluir un componente de electrón libre significativo, el cual puede ser considerado como factor de corrección para las ecuaciones corriente - voltaje concebidas para flujo iónico de corriente.

La derivación de la relación teórica corriente-voltaje procede de la Ecuación de Poisson que gobierna todos los fenómenos electrostáticos:

$$\nabla^2 V = -4 \pi \rho \quad (10.1)$$

La cual, en coordenadas cilíndricas, se reduce a

$$\frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dV}{dr} + 4 \pi \rho = 0 \quad (10.2)$$



La densidad del espacio de carga: para la corona cilíndrica está dada por:

$$\rho = \frac{i}{2\pi r K E} \quad (10.3)$$

donde:

$$E = - \frac{dV}{dr} \quad (10.4)$$

La substitución de (10.3) y (10.4) en (10.2) da:

$$\frac{rE}{dr} \frac{dE}{dr} + E^2 - \frac{2i}{K} = 0 \quad (10.5)$$

Esta ecuación es fácilmente integrada para ser:

$$E = - \frac{dV}{dr} = - \sqrt{(2i/K) + (C^2/r^2)} \quad (10.6)$$

donde:

C = constante de integración.

La integración de (10.6) da:

$$V = C \log \frac{\sqrt{C^2 + (2ia^2/K)} + C}{\sqrt{C^2 + (2ib^2/K)} + C} \quad (10.7)$$

La constante de integración C puede ser evaluada de (10.6) usando la condición límite en el radio exterior de la región luminiscente cerca del alambre. El campo en este punto: E_0 y el radio correspondiente: r_0 . Luego

$$C = r_0 \sqrt{E_0^2 - (2i/K)} \quad (10.8)$$

El valor de r_0 es algo indefinido pero es igual aproximadamente al radio de la región visible luminiscente, el cual es generalmente varias veces el radio del alambre. Usando el valor de C dado por (10.8) la ecuación (10.7) llega a

ser:

$$V = r_0 E_0 \left\{ \text{Log } \frac{a}{b} + 1 - \sqrt{1 + (2i/K) \cdot (b^2/E_0^2 r_0^2)} + \text{Log } \frac{1 + \sqrt{1 + (2i/K) \cdot (b^2/E_0^2 r_0^2)}}{2} \right\}$$

(10.9)

5. PACTO ANDINO.- El Pacto Andino fue creado de acuerdo al artículo primero y fundamental, del Acuerdo de Integración Subregional, para "promover el desarrollo equilibrado y armónico de los países miembros, acelerar su crecimiento mediante la integración económica con la finalidad de procurar un mejoramiento persistente en el nivel de vida de los habitantes de la subregión".
6. La expresión "EXP" equivale a e = base de los logaritmos neperianos.
7. DISMINUCION DE LA VISIBILIDAD.- La visibilidad de la atmósfera disminuye debido a dos efectos ópticos que ejercen las moléculas de gas y los aerosoles (partículas sólidas y gotitas líquidas) en la radiación visible. Uno es el menor paso de luz del objeto al observador, debido a las moléculas y aerosoles. Es el resultado de la absorción de luz y de la dispersión del haz de luz incidente. El otro efecto óptico que empeora el contraste entre el objeto y el fondo es la iluminación del aire intermedio resultante de la dispersión de la luz en la línea de visión, por las moléculas y las partículas que se encuentran en dicha línea.
- La visibilidad depende de la cantidad y naturaleza de las partículas suspendidas en la atmósfera y también del volumen del aire en la que este material se encuentra mezclado.

El carbón, el alquitrán, los metales y otras partículas opacas, inclusive, aquellas que tienden a presentarse como aglomerados, también contribuyen a disminuir la visibilidad. Los cristales transparentes la entorpecen por dispersar la luz. Entre ellos se encuentran los compuestos cristalinos de hierro, de aluminio, de Silicio y de Calcio que pueden existir en forma de sulfatos, Nitratos, cloruros y fluoruros.

ANTEPROYECTO DE DECRETO

EL CONSEJO SUPREMO DE GOBIERNO

C O N S I D E R A N D O :

Que es un deber del Estado Ecuatoriano, el precautelar la buena utilización y conservación de los recursos naturales del país, en pro del bienestar individual y colectivo;

Que el actual desarrollo industrial en el Ecuador, obliga a que se oriente con sentido humano y esencialmente cualitativo la preservación del ambiente.

Que es preciso y urgente establecer una política a nivel nacional, que arbitre las medidas de un justo equilibrio entre su desarrollo tecnológico y el uso de los recursos del ambiente.

Que con este efecto, el Ministerio de Salud, consciente de esta realidad, ha elaborado un Proyecto de Ley que ha sido estudiado y aprobado por la Comisión Jurídica.

D E C R E T A :

La presente Ley Nacional para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

A N T E P R O Y E C T O

LEY NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE
LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

C A P I T U L O I

DISPOSICIONES GENERALES

Art. 1. La presente Ley y los Reglamentos que se expidan, rigen la prevención y control de la contaminación ambiental; la protección de los recursos aire, agua y suelo; y la conservación, mejoramiento y restauración del ambiente; actividades que se declaran de interés público.

Art. 2. La presente Ley tiene por objeto la regulación, control y prohibición en todo el territorio nacional, de cualesquiera de las causas que originen en forma directa o indirecta, la contaminación del ambiente y la degradación de los sistemas ecológicos.

Art. 3. Para la aplicación de la presente Ley y sus Reglamentos, se crea el Comité Interinstitucional, cuyas funciones se determinan en el Capítulo II.

Art. 4 Para los efectos de esta Ley, se establecen las siguientes definiciones:

- a) Ambiente: El conjunto de condiciones que rodean a los seres vivos y en las que éstos se desarrollan.
- b) Ecosistema: Es el conjunto de relaciones entre un ambiente específico y sus seres vivos.
- c) Contaminantes: Toda materia o sustancia, o sus combinaciones, compuestos o derivados, químicos y biológicos tales como: humos, polvos, gases, bacterias, residuos y desechos y cualesquiera otros, incluyendo toda forma de energía como: calor, radioactividad y ruido, que al incorporarse o adicionarse al aire, agua o suelo puedan alterar o modificar las características naturales del ambiente o producir cualquier tipo de daño o molestia.
- d) Contaminación: La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos, que perjudiquen la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna; constituyan una molestia o degraden la calidad del aire, agua o suelo, recursos naturales, bienes nacionales o particulares.

C A P I T U L O I I

DEL COMITE INTERINSTITUCIONAL DEL AMBIENTE

Art. 5. El Comité Interinstitucional del Ambiente, se encargará a nivel nacional de la planificación racional del uso de los recursos aire, agua y suelo, para la prevención y control de la contaminación ambiental.

Art. 6. El Comité Interinstitucional estará integrado por las siguientes autoridades o sus delegados:

El Ministro de Salud que lo presidirá; el Ministro de Recursos Naturales y Turismo; el Ministro de Agricultura y Ganadería; el Ministro de Defensa Nacional; el Ministro de Industria y Comercio y el Presidente de la Junta Nacional de Planificación.

Art. 7. Las funciones de este Comité, son las siguientes:

- a) Velar porque los proyectos de desarrollo contemplen el uso racional de los recursos aire, agua y suelo, sin perjudicar el ambiente.
- b) Determinar políticas y criterios para el uso de los recursos aire, agua y suelo y para el control de la contaminación en el país, así como velar porque la planificación nacional, regional, provincial y local estén acordes a ellas.
- c) Dictaminar y tramitar la aprobación de las reglamentos preparadas por los organismos competentes.
- d) Aprobar los programas de trabajo elaborados por los distintos organismos a los que hace referencia el Art. 10, literal a.
- e) Dictaminar sobre los proyectos de trabajo y desarrollo urbano, parques nacionales, áreas industriales y zonificación en general, que causen impactos ecológicos de trascendencia.
- f) Promover el desarrollo de programas educativos e informativos a nivel nacional, sobre lo que el problema de la contaminación ambiental significa, orientando muy especialmente a la niñez y a la juventud hacia el conocimiento de los problemas ecológicos.
- g) Recabar de las instituciones encargadas de la ejecución de la Ley, la preparación de las Normas y Reglamentos pertinentes.
- h) Solicitar al Ejecutivo la creación de los organismos necesarios, en relación con las finalidades que persigue esta Ley.

Art. 8. El Poder Ejecutivo asignará los recursos requeridos para el cumplimiento de la presente Ley, los que se serán canalizados por intermedio del Comité Interinstitucional, para el desarrollo de los programas aprobados por éste.

C A P I T U L O I I I

DE LA COORDINACION

Art. 9. El Ministerio de Salud, por intermedio del Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), coordinará las actividades de las instituciones responsables de la aplicación de la presente Ley.

Art. 10. En lo que respecta a la aplicación de esta Ley, las funciones del Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) son las siguientes:

- a) Proporcionar asesoría técnica al Comité Interinstitucional y presentar anualmente programas de trabajo, elaborados en forma conjunta con las instituciones a cargo de la ejecución de la presente Ley.
- b) Presentar al Comité Interinstitucional los proyectos de Normas y Reglamentos, elaborados por las Instituciones competentes.
- c) Elaborar y poner en ejecución planes de adiestramiento de personal que estará a cargo de los programas del control de la contaminación.
- d) Realizar estudios y desarrollar programas de investigación y ejecución tendientes al control de la contaminación de los recursos aire, agua y suelo.
- e) Centralizar toda la información técnica que haga referencia al contenido de la Ley.
- f) Desempeñar las funciones de Secretaría Técnica del Comité Interinstitucional, por intermedio de su Director Ejecutivo o su Delegado.

C A P I T U L O I V
DE LOS ORGANISMOS COMPETENTES

- Art. 11. La aplicación de esta Ley y la ejecución de las acciones tendientes a la preservación de los recursos aire, agua y suelo, competen en coordinación con el Ministerio de Salud a los siguientes organismos:
- a) Ministerio de Salud a través del Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), en materia de prevención y control de la contaminación del agua de consumo humano, de las aguas residuales, del aire, del ruido, de las radiaciones y de la producida por los desechos sólidos en el suelo.
 - b) Ministerio de Agricultura y Ganadería, por intermedio del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI), en materia de prevención de la contaminación y control de la calidad de las aguas dulces, ríos y lagos en concordancia con lo dispuesto en la Ley de Aguas.
 - c) Ministerio de Defensa Nacional por intermedio de la Dirección de Desarrollo Marítimo; en materia de la prevención de la contaminación y control de la calidad de las aguas marinas y ríos navegables, de acuerdo con lo establecido en el Código de Policía Marítima.
 - d) Ministerio de Recursos Naturales y Turismo y Ministerio de Agricultura y Ganadería en materia de prevención y control de la contaminación de los suelos.
 - e) Ministerio de Industrias, Comercio e Integración en todo cuanto se refiere a la instalación de nuevas industrias.
 - f) Otras instituciones vinculadas directa o indirectamente con Programas de Desarrollo Regional, Provincial o Local que conlleven problemas de contaminación ambiental.

C A P I T U L O V

DE LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Art. 12. Queda prohibido, sin sujetarse a las Normas y Reglamentos, expeler o descargar a la atmósfera contaminantes que, a juicio del Ministerio de Salud, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia.

Art. 13. Para los efectos de esta Ley, serán considerados como fuentes potenciales de contaminación del aire:

- a) Las artificiales, originadas por el desarrollo técnológico y la acción del hombre, tales como: fábricas, calderas, generadores de vapor, talleres, plantas termoeléctricas, refinerías de petróleo, plantas químicas, vehículos, automotores y similares, la incineración, quema a cielo abierto de basuras y residuos, la explotación de materiales de construcción y otras actividades que produzcan o puedan producir contaminación; y
- b) Las naturales, ocasionadas por fenómenos naturales, tales como: erupciones, precipitaciones, sismos, sequías, deslizamientos de tierra y otros.

Art. 14. Se sujetarán a la presente Ley y sus Reglamentos, todas las emisiones provenientes de fuentes artificiales, móviles o fijas, que produzcan contaminación atmosférica, dentro del territorio nacional.

Las actividades tendientes al control de la contaminación provocada por fenómenos naturales son atribuciones directas de todas aquellas instituciones que tienen competencia en este campo.

Art. 15. Será responsabilidad del Ministerio de Salud en coordinación con otras Instituciones, estructurar y ejecutar programas que involucren aspectos relacionados con causas, efectos, alcances y métodos de prevención y control de la contaminación atmosférica.

- Art. 16. Las instituciones públicas o privadas interesadas en la instalación de proyectos industriales o de otras que ocasionen alteraciones en los sistemas ecológicos y que produzcan o puedan producir contaminación del aire, deberán presentar al Ministerio de Salud, para su aprobación previa, estudios sobre el impacto ambiental y las medidas de control que se proyecten aplicar.

C A P I T U L O V I I I

DE LAS SANCIONES

- Art. 27. Las penas aplicables a las infracciones de la presente Ley, y a las Normas que se dicten para su aplicación, serán establecidas en los reglamentos correspondientes.
- Art. 28. Se concede acción popular para denunciar ante las autoridades competentes, toda actividad que contamine el medio ambiente, en los términos de la presente Ley y sus Reglamentos.
- Art. 29. En ningún caso, se dejará en suspenso la aplicación de las sanciones impuestas por infracciones a la presente Ley.
- Art. 30. Son supletorias de esta Ley y sus Reglamentos, el Código de la Salud, la Ley de Aguas, el Código de Policía Marítima y demás Leyes que rigan en materia de aire, agua, suelo, flora y fauna.

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

- Art. 31. En el plazo de 60 días a partir de la promulgación del presente Decreto en el Registro Oficial, el Comité Interinstitucional creado por esta Ley, deberá presentar a consideración del Ejecutivo el Reglamento Interno para su funcionamiento.

Dado, en el Palacio Nacional, en Quito, a 21 de Mayo de 1976.

f.) Vicealmirante Alfredo Poveda Burbano, Comandante General de la Fuerza Naval, Presidente del Consejo Supremo de Gobierno.— f.) General Guillermo Durán Arcentales, Comandante General de la Fuerza Terrestre, Miembro del Consejo Supremo de Gobierno.— f.) Brigadier General Luis Leoro Franco, Comandante General de la Fuerza Aérea, Miembro del Consejo Supremo de Gobierno.

f.) Andrés Arrata Macías, General de Div. (R), Ministro de Defensa Nacional.

Es copia.— Lo certifico:

f.) Víctor H. Garcés Pozo, Capitán de Navío de E. M., Secretario General de la Administración Pública.

Nº 374

EL CONSEJO SUPREMO DE GOBIERNO,

Considerando:

Que es deber del Estado Ecuatoriano precautar la buena utilización y conservación de los recursos naturales del país, en pro del bienestar individual y colectivo;

Que el actual desarrollo industrial en el Ecuador obliga a que se oriente con sentido humano y esencialmente cualitativo la preservación del ambiente;

Que es preciso y urgente establecer una política a nivel nacional, que arbitre las medidas de un justo equilibrio entre su desarrollo tecnológico y el uso de los recursos del ambiente;

Que el Ministerio de Salud, consciente de esta realidad, ha elaborado un proyecto de Ley, que ha sido estudiado y aprobado por la Comisión de Legislación.

EXPIDE:

La presente LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

CAPITULO I

Disposiciones Generales

Art. 1.— Esta Ley rige la prevención y control de la contaminación ambiental; la protección de los recursos aire, agua y suelo; y la conservación, mejoramiento y restauración del ambiente; actividades que se declaren de interés público.

Art. 2.— A los organismos determinados en esta Ley les corresponde la regulación, control y prohibición, en todo el territorio nacional, de las causas que originen, en forma directa o indirecta, la contaminación del ambiente y la degradación de los sistemas ecológicos.

Art. 3.— Para los efectos de esta Ley, se entenderá por:

- ambiente: el conjunto de condiciones que rodean a los seres vivos y en las que éstos se desarrollan;
- ecosistema: el conjunto de relaciones entre un ambiente específico y sus seres vivos;
- contaminante: cualquier factor orgánico, inorgánico o energético que, por sí solo o en combinación con otros, produzca al ser vertido un cambio perjudicial en un medio ecológico; y,
- contaminación: la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes que perjudiquen la vida, la salud y el bienestar humanos, la flora y la fauna; o constituyan una molestia, o degraden la calidad del aire, del agua, del suelo o de otros bienes nacionales o particulares.

CAPITULO II

Del Comité Interinstitucional de Protección del Ambiente

Art. 4.— Para la aplicación de esta Ley y de sus Reglamentos se crea el Comité Interinstitucional de Protección del Ambiente; el mismo que se encargará, a nivel nacional, de la planificación racional del uso de los recursos aire, agua y suelo, para la prevención y control de la contaminación ambiental.

Art. 5.— El Comité estará integrado por los siguientes funcionarios o sus delegados:

El Ministro de Salud quien lo presidirá, el Ministro de Recursos Naturales y Energéticos, el Ministro de Agricultura y Ganadería, el Ministro de Defensa Nacional, el Ministro de Industrias, Comercio e Integración y el Presidente de la Junta Nacional de Planificación y Coordinación.

Art. 6.— Corresponde al Comité:

- determinar políticas y criterios para el uso de los recursos aire, agua y suelo y para el control de la contaminación en el país, así como velar porque la planificación nacional, regional, provincial y local estén acordes a ellas;
- velar porque los proyectos de desarrollo contemplan el uso racional de los recursos aire, agua y suelo, sin perjudicar el ambiente;
- expedir, mediante acuerdo, las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a base de los proyectos preparados por los organismos pertinentes;
- aprobar los programas de trabajo elaborados por los organismos a los que hace referencia el Art. 9, literal a);
- dictaminar sobre los proyectos de trabajo y desarrollo urbano, tales como parques nacionales, áreas industriales y zonificación general, que causen impactos ecológicos de trascendencia;
- promover el desarrollo de programas educativos e informativos a nivel nacional, sobre el pro-

blema de la contaminación ambiental, orientando muy especialmente a la niñez y a la juventud hacia el conocimiento de los problemas ecológicos;

- g) recabar de las instituciones encargadas de la ejecución de la Ley, la preparación de las normas técnicas y de las regulaciones; y.
- h) solicitar al Ejecutivo la creación de los organismos necesarios, para cumplir con las finalidades de esta Ley.

Art. 7.— El Ejecutivo asignará los recursos requeridos para el cumplimiento de esta Ley, los que serán canalizados por intermedio del Comité Interinstitucional, para el desarrollo de sus programas.

CAPITULO III

De la Coordinación

Art. 8.— El Ministerio de Salud, por intermedio del Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), coordinará las actividades de las instituciones responsables de la aplicación de la presente Ley.

Art. 9.— En lo que respecta a la aplicación de esta Ley, las funciones del Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) son las siguientes:

- a) proporcionar asesoría técnica al Comité Interinstitucional, y presentar anualmente programas de trabajo, elaborados en forma conjunta con las instituciones a cargo de la ejecución de esta Ley;
- b) presentar al Comité los proyectos de normas técnicas y regulaciones, elaboradas por las instituciones pertinentes;
- c) elaborar y poner en ejecución planes de adiestramiento del personal, que estará a cargo de los programas del control de la contaminación;
- d) realizar estudios y desarrollar programas de investigación y ejecución tendientes al control de la contaminación de los recursos aire, agua y suelo;
- e) centralizar toda la información técnica; y,
- f) desempeñar las funciones de Secretaría Técnica del Comité Interinstitucional, por intermedio de su Director Ejecutivo o de su delegado.

CAPITULO IV

De los Organismos Ejecutivos

Art. 10.— La aplicación de esta Ley y la ejecución de las acciones tendientes a la preservación de los recursos aire, agua y suelo, corresponden a los siguientes organismos:

- a) Ministerio de Salud a través del Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), en materia de prevención y control de la contaminación del agua de consumo humano, de las aguas residuales, del aire, del ruido, de las radiaciones y de la producida por los desechos sólidos en el suelo;

b) Ministerio de Agricultura y Ganadería, por intermedio del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos (INERHI), en materia de prevención de la contaminación y control de la calidad de las aguas dulces, ríos y lagos, en concordancia con la Ley de Aguas;

c) Ministerio de Defensa Nacional, por intermedio de la Dirección de Desarrollo Marítimo, en lo concerniente a la prevención de la contaminación y control de la calidad de las aguas marinas y ríos navegables, de acuerdo con lo establecido en el Código de Policía Marítima; y por intermedio de la Dirección de Aviación Civil, en lo concerniente a la prevención de la contaminación y control del espacio aéreo, en materia de aeronavegabilidad;

d) Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos y Ministerio de Agricultura y Ganadería, en lo concerniente a la prevención y control de la contaminación de los suelos;

e) Ministerio de Industrias, Comercio e Integración y Ministerio de Trabajo y Bienestar Social, en todo lo que se refiere a la instalación de nuevas industrias y otras actividades de carácter laboral;

f) Ministerio de Gobierno, por intermedio de la Dirección General de Tránsito, en lo que concierne a la contaminación ambiental ocasionada por la circulación de automotores;

g) Ministerio de Educación Pública, en lo concerniente a la planificación y ejecución de programas educativos sobre contaminación ambiental, en escuelas y colegios;

h) Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, en todo lo que se refiere al uso de radiación ionizante, o isótopos radiactivos en usos industriales, o cualquier otro tipo de actividades que conlleven riesgos de contaminación o exposición a radiación;

i) universidades y escuelas politécnicas, en lo concerniente a investigaciones sobre contaminación ambiental en cuanto dispongan de medios técnicos y científicos apropiados para ello; y,

j) otras instituciones públicas o privadas, vinculadas directa o indirectamente con programas de desarrollo regional, provincial o local que conlleven problemas de contaminación ambiental.

CAPITULO V

De la Prevención y Control de la Contaminación del Aire

Art. 11.— Queda prohibido expeler hacia la atmósfera o descargar en ella, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que, a juicio del Ministerio de Salud, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia.

Art. 12.— Para los efectos de esta Ley, serán considerados como fuentes potenciales de contaminación del aire:

- a) las artificiales, originadas por el desarrollo tecnológico y la acción del hombre, tales como fábricas, calderas, generadores de vapor, talleres, plantas, termoelectricas, refinarias de petróleo, plantas químicas, aeronaves, automotores y similares, la incineración, quema a cielo abierto de basuras y residuos, la explotación de materiales de construcción y otras actividades que produzcan o puedan producir contaminación; y,
- b) las naturales, ocasionadas por fenómenos naturales, tales como erupciones, precipitaciones, sismos, sequías, deslizamientos de tierra y otros.

Art. 13.— Se sujetarán al estudio y control de los organismos determinados en esta Ley y sus reglamentos las emanaciones provenientes de fuentes artificiales, móviles o fijas, que produzcan contaminación atmosférica.

Las actividades tendientes al control de la contaminación provocada por fenómenos naturales son atribuciones directas de todas aquellas instituciones que tienen competencia en este campo.

Art. 14.— Será responsabilidad del Ministerio de Salud, en coordinación con otras Instituciones, estructurar y ejecutar programas que involucren aspectos relacionados con las causas, efectos, alcances y métodos de prevención y control de la contaminación atmosférica.

Art. 15.— Las instituciones públicas o privadas interesadas en la instalación de proyectos industriales, o de otras que pudieran ocasionar alteraciones en los sistemas ecológicos y que produzcan o puedan producir contaminación del aire, deberán presentar al Ministerio de Salud, para su aprobación previa, estudios sobre el impacto ambiental y las medidas de control que se proyecten aplicar.

CAPITULO VI

De la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas

Art. 16.— Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.

Art. 17.— El Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI), en coordinación con los Ministerios de Salud y Defensa, según el caso, elaborarán los proyectos de normas técnicas y de las regulaciones para autorizar las descargas de líquidos residuales, de acuerdo con la calidad de agua que deba tener el cuerpo receptor.

Art. 18.— El Ministerio de Salud fijará el grado de tratamiento que deban tener los residuos líquidos a descargar en el cuerpo receptor, cualquiera sea su origen.

Art. 19.— El Ministerio de Salud, también, está facultado para supervisar la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de su operación y mantenimiento, con el propósito de lograr los objetivos de esta Ley.

CAPITULO VII

De la Prevención y Control de la Contaminación de los Suelos

Art. 20.— Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes.

Art. 21.— Para los efectos de esta Ley, serán considerados como fuentes potenciales de contaminación, las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica.

Art. 22.— El Ministerio de Agricultura y Ganadería limitará, regulará o prohibirá el empleo de sustancias, tales como plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, desfoliadores, detergentes, materiales radioactivos y otros, cuyo uso pueda causar contaminación.

Art. 23.— El Ministerio de Salud, en coordinación con las municipalidades, planificará, regulará, normará, limitará y supervisará los sistemas de recolección, transporte y disposición final de basuras en el medio urbano y rural.

En igual forma este Ministerio, en coordinación con la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, limitará, regulará, planificará y supervisará todo lo concerniente a la disposición final de desechos radioactivos de cualquier origen que fueren.

Art. 24.— Las personas naturales o jurídicas que utilicen desechos sólidos o basuras, deberán hacerlo con sujeción a las regulaciones que al efecto se dictará. En caso de contar con sistemas de tratamiento privado o industrializado, requerirán la aprobación de los respectivos proyectos e instalaciones, por parte del Ministerio de Salud.

Art. 25.— El Ministerio de Salud regulará la disposición de los desechos provenientes de productos industriales que, por su naturaleza, no sean biodegradables, tales como plásticos, vidrios, aluminio y otros.

CAPITULO VIII

De las Sanciones

Art. 26.— Quien infringiere lo dispuesto en los Arts. 11, 16 y 20, será sancionado:

- con prisión de un año a tres años si la infracción ocasionare contaminación que produjere la muerte de una persona;
- con prisión de quince días a seis meses si la infracción ocasionare contaminación que produjere

re enfermedad que pase de diez días de curación, a una persona; y si le hubiere ocasionado lesión permanente, la pena será de seis meses a un año de prisión.

Si produjere epidemia, la pena será de seis meses a tres años de prisión;

c) con prisión de tres meses a dos años si la infracción ocasionare contaminación que produjere grave destrucción de plantaciones o alguna epizootia; y,

d) con multa de mil a cincuenta mil sucres, según la gravedad de los efectos, si la infracción ocasionare contaminación que produjere otro daño, no previsto en los literales anteriores.

Art. 27.— Corresponde a los jueces de lo penal el juzgamiento de las infracciones a que se refieren los literales a), b) y c) del artículo precedente, con sujeción al trámite establecido en el Código de Procedimiento Penal sobre atenuantes, agravantes y reincidencia.

Art. 28.— Corresponde a los comisarios de sanidad el juzgamiento de las infracciones a que se refiere el literal d) del Art. 26, con sujeción al trámite establecido en los Art. 213 a 230 del Código de salud.

Art. 29.— Se concede acción popular para denunciar ante las autoridades competentes, toda actividad que contamine el medio ambiente.

Art. 30.— Son supletorias de esta Ley, el Código de la Salud, la Ley de Aguas, el Código de Policía Marítima y las demás leyes que rigen en materia de aire, agua, suelo, flora y fauna.

DISPOSICION TRANSITORIA.— En el plazo de sesenta días contados a partir de la promulgación de esta Ley, el Comité Interinstitucional presentará a consideración del Ejecutivo el reglamento general, y expedirá el reglamento interno para su funcionamiento.

DISPOSICION FINAL.— Esta Ley entrará en vigencia desde su publicación en el Registro Oficial, y de su ejecución encárguense todos los señores Ministros de Estado.

Dado en el Palacio Nacional, en Quito, a 21 de mayo de 1976.

f.) Vicealmirante Alfredo Poveda Burbano, Comandante General de la Fuerza Naval, Presidente del Consejo Supremo de Gobierno.— f.) General Guillermo Durán Arcentales, Comandante General de la Fuerza Terrestre, Miembro del Consejo Supremo de Gobierno.— f.) Brigadier General Luis Leoro Franco, Comandante General de la Fuerza Aérea, Miembro del Consejo Supremo de Gobierno.

Es copia.— Lo certifico:

f.) Víctor H. Garcés Pozo, Capitán de Navío de E. M., Secretario General de la Administración Pública.

Nº 375

EL CONSEJO SUPREMO DE GOBIERNO,

Considerando:

Que, el 4 de junio del presente año, iniciará sus sesiones en Santiago, República de Chile, la VI Asamblea General de la Organización de los Estados Americanos;

Que, en dicho período ordinario de sesiones de la Asamblea General, se considerarán asuntos de vital importancia para los intereses del país; y,

Que el Ecuador, como miembro del Sistema Interamericano, debe estar representado en tal trascendental evento,

Decreta:

Art. 1º— Confórmase la delegación del Ecuador a la Asamblea General de la OEA en su VI Período Ordinario de Sesiones, la misma que estará integrada por los señores Doctores Armando Pesantes García, Ministro de Relaciones Exteriores, quien la presidirá, Galo Leoro Franco, Luis Ponce Enriquez, Arturo Lecaro Bustamante, Gustavo Cordovéz Pareja, Ulpiano López Maldonado y Profesor José Ignacio Donoso Velasco; y, como Secretarios los Licenciados Manuel Romero y Héctor Pastor.

Art. 2º— Los gastos por concepto de pasajes y viáticos de los señores Doctores Armando Pesantes García, Galo Leoro Franco, Arturo Lecaro Bustamante, Ulpiano López Maldonado y Licenciados Manuel Romero y Héctor Pastor se tomarán del Presupuesto del Ministerio de Relaciones Exteriores. En lo que respecta al Profesor Doctor José Ignacio Donoso Velasco los pasajes correrán a cargo del Presupuesto correspondiente a la Universidad Central del Ecuador y los viáticos serán cubiertos por el Ministerio de Relaciones Exteriores.

Art. 3º— De la ejecución del presente Decreto encárgase al Señor Ministro de Relaciones Exteriores.

Dado, en el Palacio Nacional, en Quito, a 21 de Mayo de 1976.

f.) Vicealmirante Alfredo Poveda Burbano, Comandante General de la Fuerza Naval, Presidente del Consejo Supremo de Gobierno.— f.) General Guillermo Durán Arcentales, Comandante General de la Fuerza Terrestre, Miembro del Consejo Supremo de Gobierno.— f.) Brigadier General Luis Leoro Franco, Comandante General de la Fuerza Aérea, Miembro del Consejo Supremo de Gobierno.

f.) Armando Pesantes García, Ministro de Relaciones Exteriores.

Es copia.— Lo certifico:

f.) Víctor H. Garcés Pozo, Capitán de Navío de E. M., Secretario General de la Administración Pública.

TABLAS

T A B L A 10.1

PROPIEDADES DE LOS GASES A BAJAS PRESIONES Y 25°C

Gas	Fórmula Química	Peso mole cular M	Constante de los gases R MKG/KGM°K	Calores específicos		Relación de calores esp. K
				K cal/Kgm°C Cp	Cv	
Aire	-	29.0	29.3	0.240	0.171	1.40
Monóxido de Carb.	CO	28.0	30.3	0.249	0.178	1.40
Helio	He	4.0	212.0	1.250	0.753	1.66
Hidrógeno	H2	2.02	421	3.43	2.440	1.40
Nitrógeno	N2	28.0	30.2	0.248	0.177	1.40
Oxígeno	O2	32.0	26.5	0.219	0.157	1.40
Vapor de agua	H2O	18.0	47.1	0.445	0.335	1.33

T A B L A 10.2

CONSTANTES DIELECTRICAS PARA ALGUNOS MATERIALES
COMUNES

MATERIAL	CONSTANTE DIELECTRICA*
Aire	1.0006
Alumina	4.5 a 8.4
Cloruro de Amonio	7
Carbonato de calcio	6.14
Dolomita	6.8 a 8
Oxido ferroso	14.2
Vidrio (Pyrex)	3.8 a 6
Quarzo (fundido)	3.75 a 4.1
Cloruro de Sodio	6.12
Vapor de Agua	1.01
Azufre	4
Dióxido de Titanio	14 a 110
Agua	80

*Estos valores varían con la temp. Humedad y frecuencia eléct. en los
cuales haya sido medido. presión

T A B L A 10.3

DIAMETRO PROMEDIO DE PARTICULAS EN VARIAS OPERACIONES
INDUSTRIALES TÍPICAS DE INSTALACIONES DE PRECIPITADORES ELECTRICOS

PARTICULA	DIAMETRO PROMEDIO	
	μ	
Polvo de carbón	10	
Ceniza de carbón pulverizado	1 a 150	
Humo de tabaco (rocío de alquitrán)	0.25	
Polvo de cemento	5 a 100	
Polvo de talco	10	
Polvo de Silicio	5	
Polvo de Zinc atomizado	15	
Polvo de fábrica de Fluor	15	
Humo alcalino	1 a 5	
Humo de cloruro de Amonio	0.1 a 1	
Humo de óxido de Zinc	0.05	
Polvo de Zinc condensado	2	
Pigmentos	0.2 a 5	
Leche secada y atomizada	0.1 a 3	

T A B L A 10.4

PERDIDA DE POLVO DE HORNOS ROTATORIOS DEL PROCESO "CEMENTO
PORTLAND"(Representantivo)

Prod. de planta Barril/día	PROCESO	Carga de polvo gr/pie ³	Polvo total Ton/día	Polvo lbs/barril	% de Polvo de horno alim.
5600	Húmedo	0.75	25	8.9	1.5
2700	Húmedo	5.94	65	48.1	12.9
2250	Seco	2.10	21	18	3.0
8000	Seco	6.10	240	59.5	9.6
1600	H - S	3.9	42	52.2	13.8

T A B L A 10.5

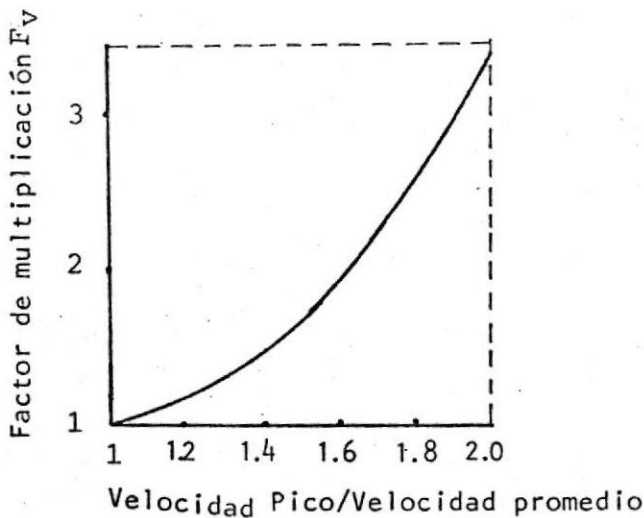
VALORES TÍPICOS DE ALGUNAS VARIABLES DE DISEÑO USADOS EN
LA PRACTICA DE PRECIPITADORES ELECTRICOS COMERCIALES

VARIABLE DE DISEÑO	RANGO NORMAL DE VALORES
Espacio entre placas	8 a 11 pulgadas
Velocidad a través del Precipitador	1 a 16 pie/seg.
Altura vertical de las placas	12 a 24 pie
Longitud horizontal de las placas	0.5 a 1.0 x altura
Voltaje aplicado	30 a 75 KV
Velocidad de precipitación: W	0.1 a 5 pie/seg.
Temperatura del gas	Arriba de 350°F normal, de 1000 °F alta temperatura, de 1300°F especial.
Tiempo de tratamiento	2 a 10 seg.
Pérdida de presión	0.1 a 0.5 pulg. agua manométrica
Eficiencia	Arriba de 99.9 +% generalmente de 90% a 98%.
Corriente en la corona	0.01 a 5 $\frac{\text{MA}}{\text{pie alambre}}$
Intensidad de campo	7 A 15 $\frac{\text{KV}}{\text{Pulg.}}$

DIAGRAMAS

DIAGRAMA 10.1

FACTORES DE MULTIPLICACION PARA PERDIDA, DE PRECIPITADORES ELECTRICOS
CON DISTRIBUCION DE GAS NO UNIFORME - PERDIDA IGUAL $F_v L_o$. DONDE LO IGUAL
A PERDIDA CON DISTRIBUCION DE GAS UNIFORME



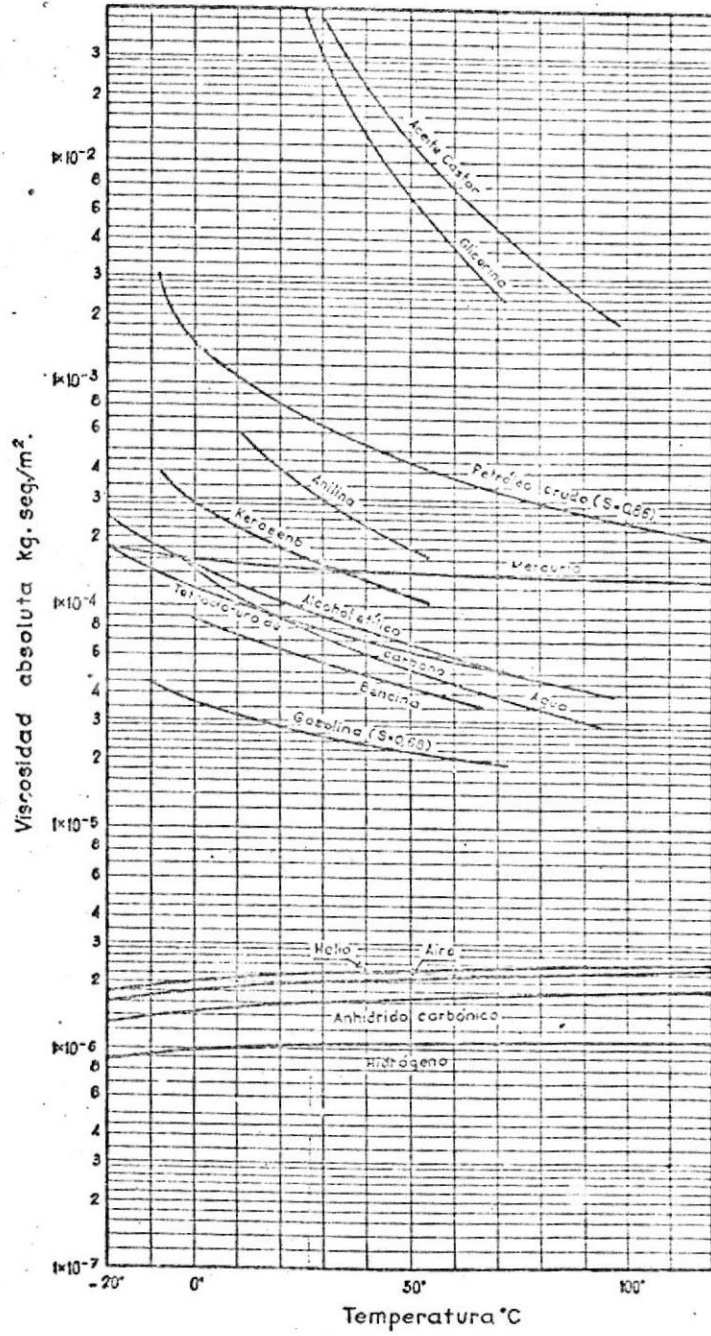


DIAGRAMA 10.2-Viscosidades absolutas de algunos gases y líquidos.

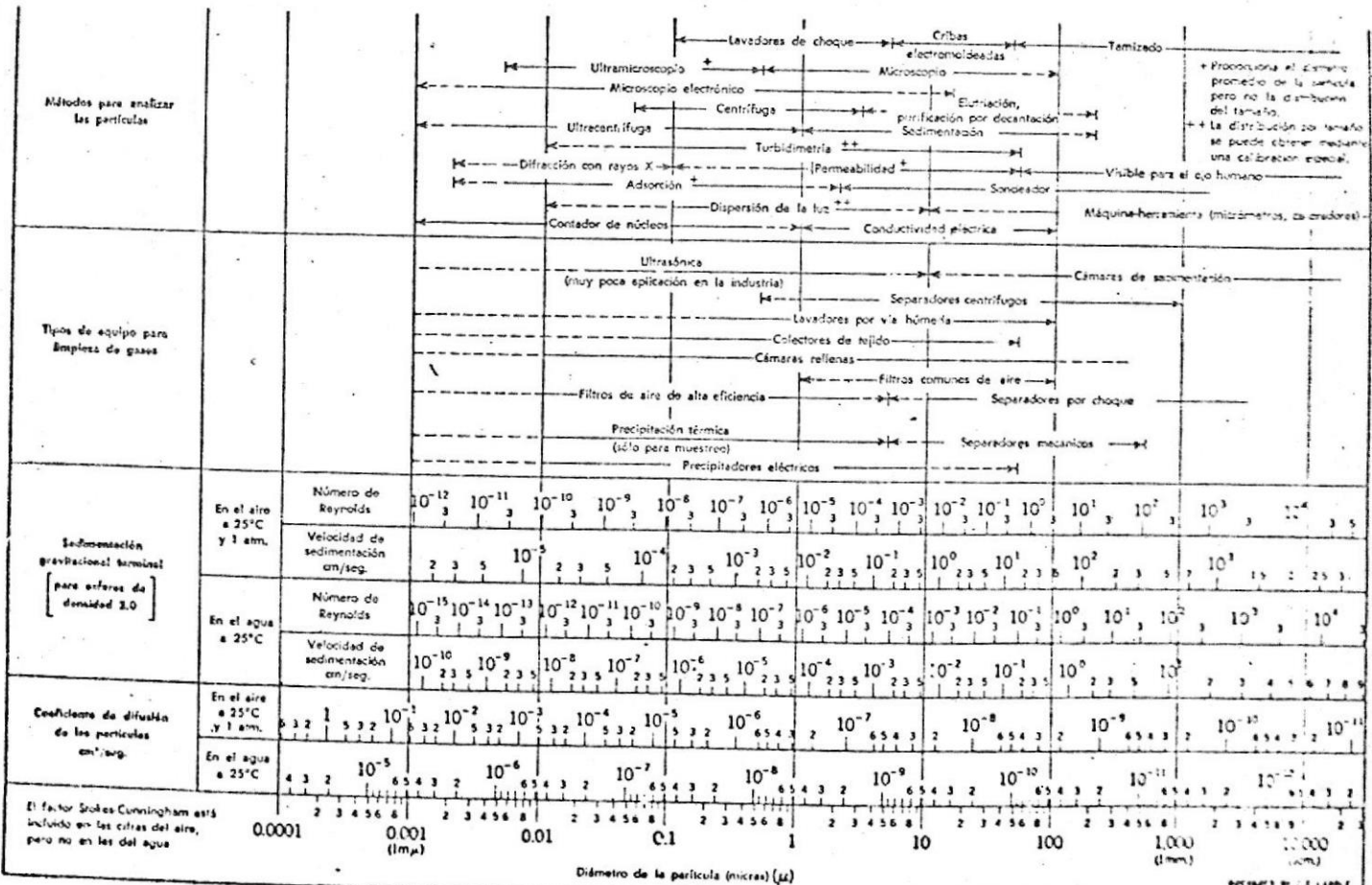
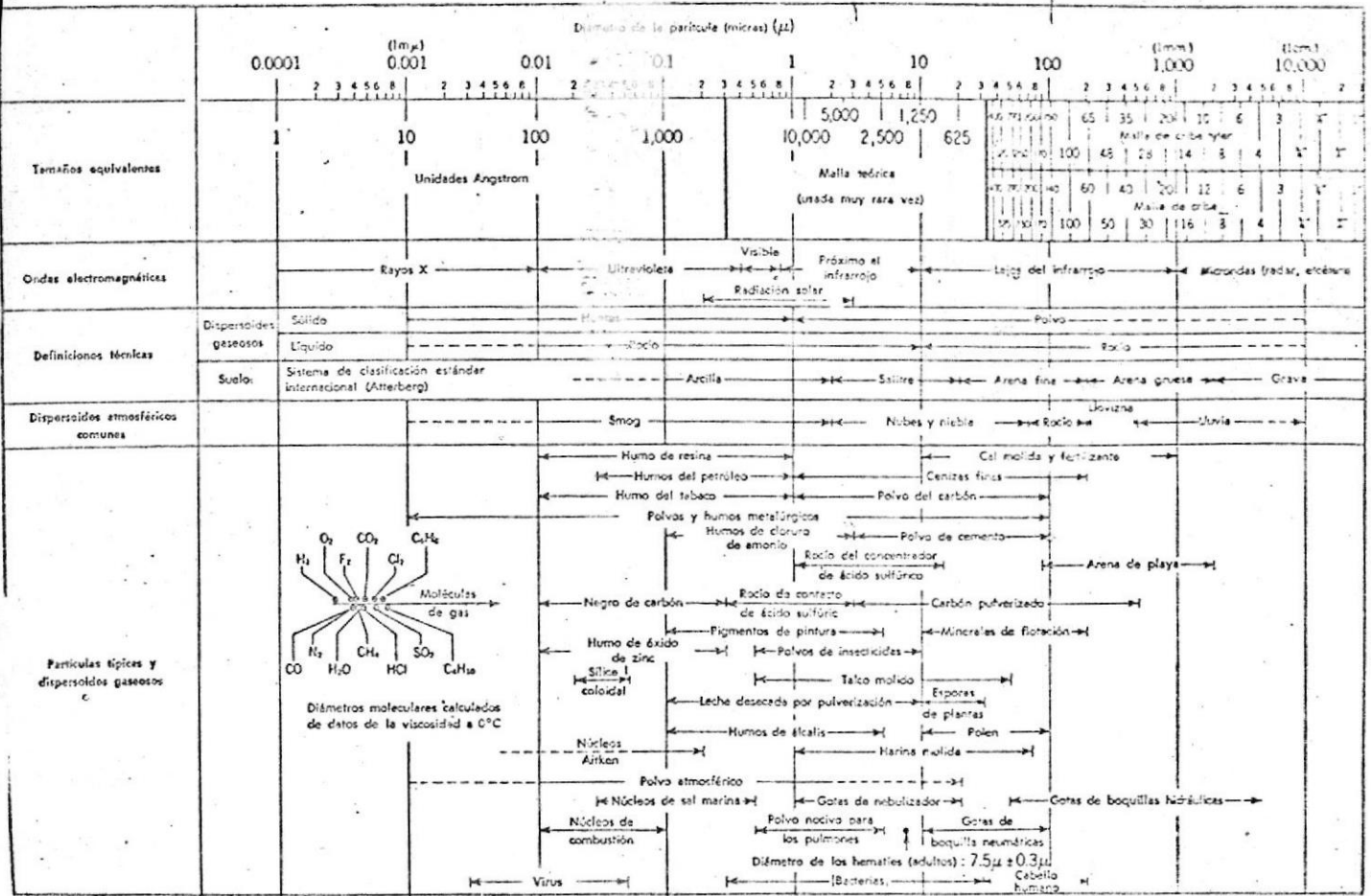
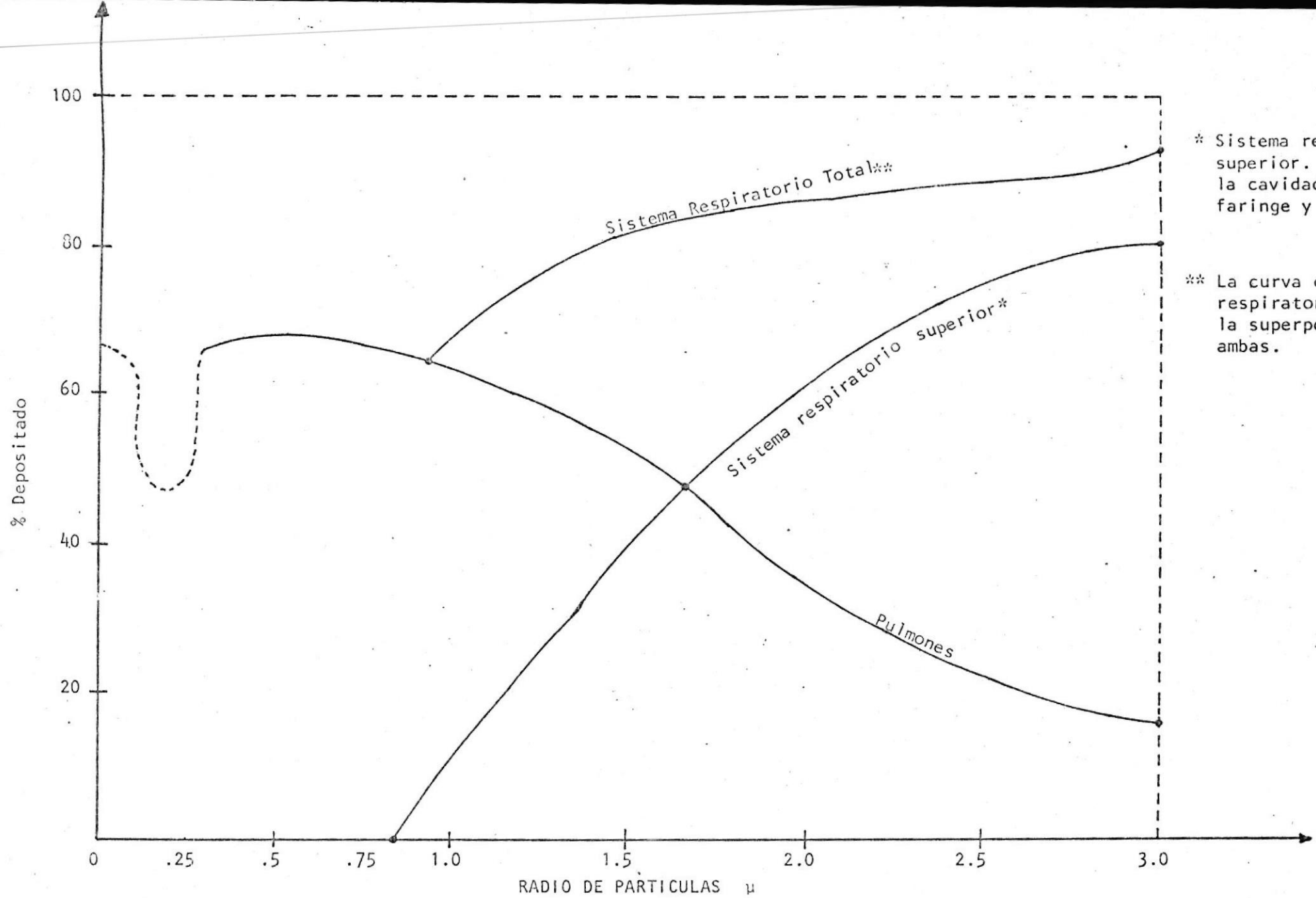


DIAGRAMA 2-3 Características de las partículas y de los dispersoides de las partículas. (Cortesía de Stanford Research Institute.)



* Sistema respiratorio superior. Consiste de la cavidad nasal, la faringe y la traquea.

** La curva del sistema respiratorio total es la superposición de ambas.

DIAGRAMA 2.5.- PORCENTAJE DE MATERIAL PARTICULADO RETENIDO EN SISTEMA RESPIRATORIO Vs. TAMAÑO DE LA PARTICULA

Isometric Flow Chart

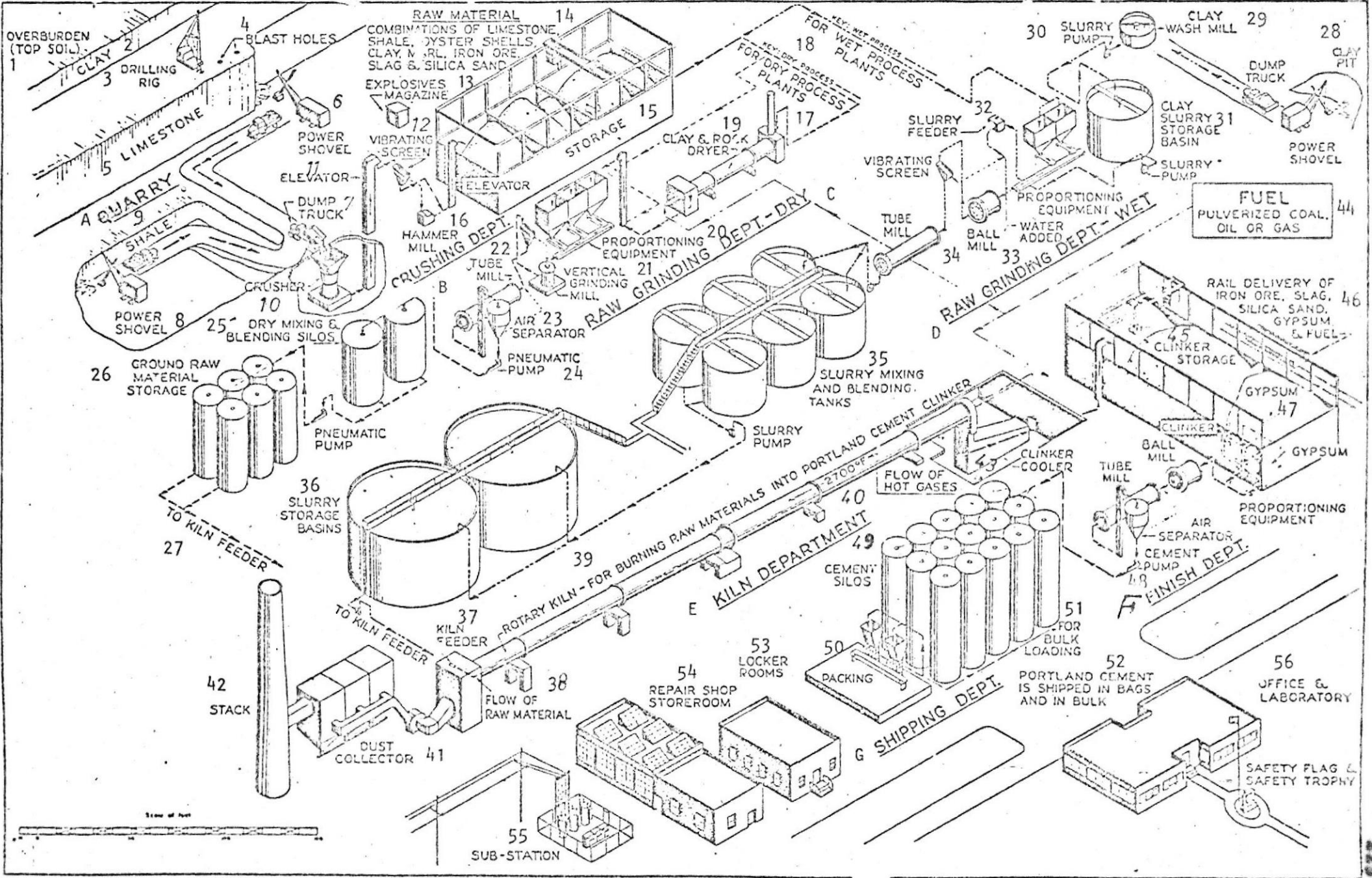


DIAGRAMA 2-7.-

MANUFACTURA DE CEMENTO PORTLAND *

Gráfico en Flujo Isométrico

(A) Cantera.- (1) Material encima de la roca (cima del terreno)
 (2) Arcilla.- (3) Equipo de horadación.- (4) Huecos de la dinamitación.- (5) Piedra calcárea.- (6) Pala mecánica.- (7) Volqueta.- (8) Pala mecánica.- (9) Arcilla esquistosa.- (B) Departamento de Trituración.- (10) Trituradora.- (11) Elevador (12) Cebazo vibrante.- (13) Depósito de explosivos.- (14) Materia prima: Combinaciones de piedra calcárea, arcilla, conchas de ostra, barro, Mineral de hierro, escorias de alto horno y arena silicea (15) Almacenamiento.- (16) Molino a martillos.- (C) Departamento de Molienda en Bruto Proceso en seco.- (17) Hacia las instalaciones del proceso en seco.- (18) Hacia las instalaciones del proceso húmedo.- (19) Secador de barro y roca.- (20) Equipo de dosificación.- (21) Molino vertical.- (22) Molino de tubo.- (23) Separador de aire.- (24) Bomba neumática.- (25) Silos de mezclado en seco.- (26) Almacenaje de materia prima del suelo.- (27) Al horno alimentador.- (D) Departamento de Molienda en Bruto Proceso húmedo.- (28) Mina de arcilla.- (29) Molino desleidor de arcilla.- (30) Bomba de lechada.- (31) Depósito de almacenamiento de arcilla en pasta.- (32) Alimentador de pasta.- (33) Agua añadida.- (34) Molino de bolas.- (35) Tanques de mezclado de pasta.- (36) Depósitos de almacenaje de pasta.- (E) Departamento del Horno.- (37) Horno alimentador.- (38) Flujo de Materia Prima.- (39) Horno rotatorio - para combustión de materia prima - dentro de la producción de clinker (escoria) de cemento Portland. (40) Flujo de gases calientes.- (41) Colector de polvo.- (42) Chi

* Traducción al español de Diagrama 2-7. de acuerdo a números y letras correspondientes.

menea.- (43) Enfriador de clinker.- (44) Combustible: Carbón pulverizado - petróleo o gas.- (F) Departamento del Proceso Final.- (45) Almacenaje de clinker.- (46) Carril de entrega de mineral de hierro, escoria, arena silícea, yeso y combustible (47) Yeso.- (48) Bomba de cemento.- (49) Silos de cemento. (G) Departamento de despacho.- (50) Embalaje.- (51) Hacia el cargamento a granel.- (52) Cemento Portland es despachado en sacos y a granel.- (53) Cuarto con roperos. (54) Taller de reparaciones y bodega.- (55) Subestación de Energía eléctrica.- (56) oficina y laboratorio.

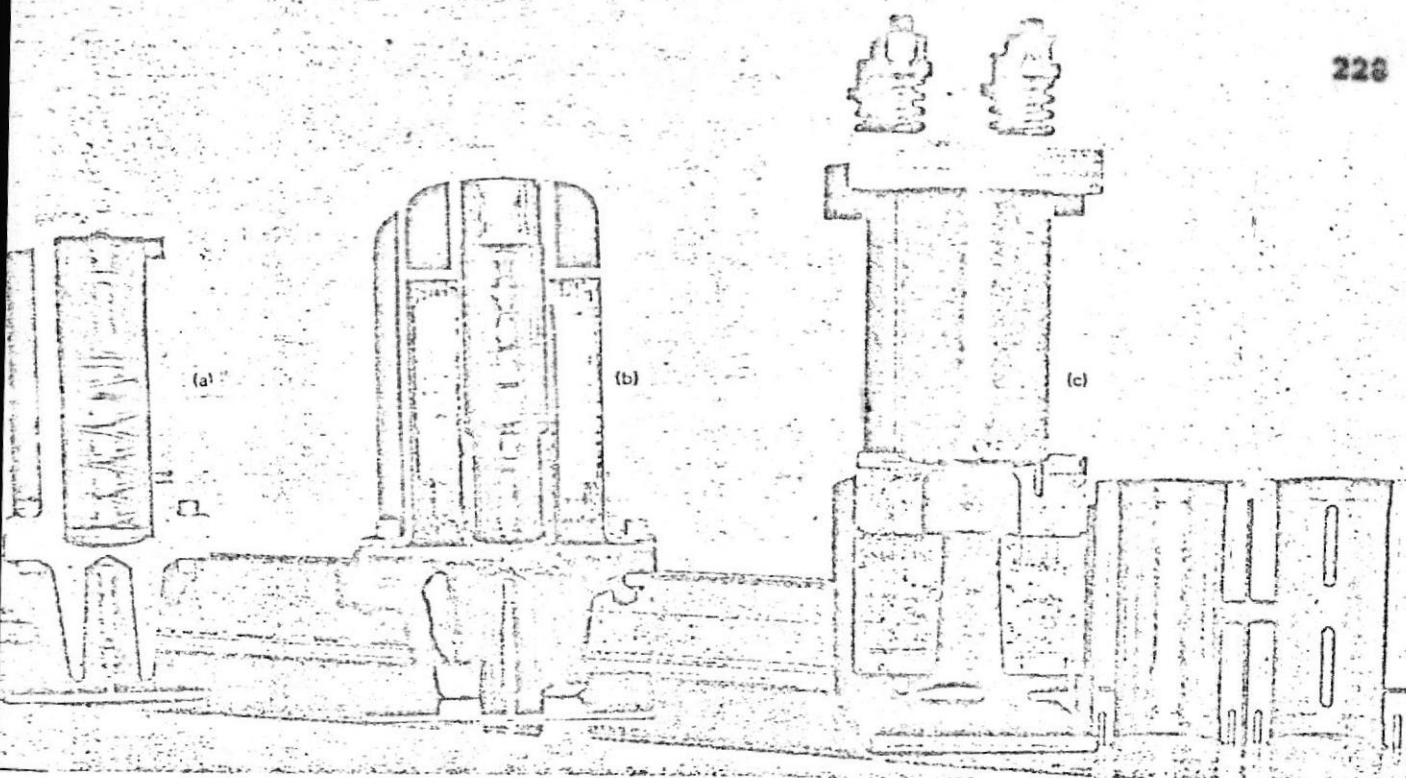
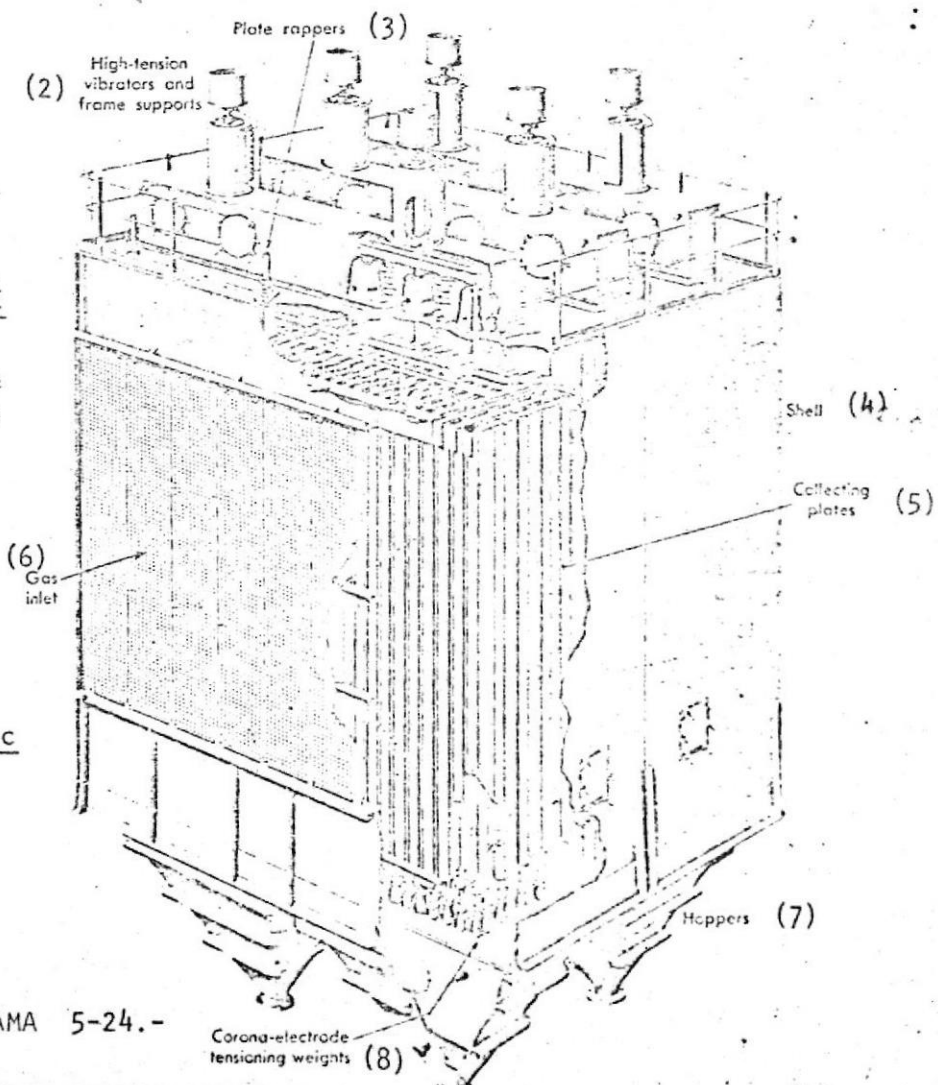


DIAGRAMA 5-23.- Mecanismos de Vibración del Precipitador electrostático: A) Vibración de Impulso Neumático. B) Vibración de impulso magnético; C) Vibración Neumática Recíproca.

(1) ELEMENTS OF ELECTRICAL PRECIPITATION SYSTEMS [CHAP. 2



ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE PRECIPITACION ELECTRICA.

Vibradores y estructuras de soporte del sistema de alta tensión.

Gozne de sujeción de placa

Coraza

Placas colectoras

Entrada del gas

Tolvas

Pesos de Tensión de los electrodos de la corona

DIAGRAMA 5-24.-

Corona-electrode tensioning weights (8)

REFERENCIAS

- Nº 1. Detalles de lineamientos de este proyecto consultar documentos: "Programa de la Contaminación Ambiental en el Ecuador" presentado por el conferencista Ing. José Pino, Jefe del Departamento de Contaminación - I.E.O.S. en el Seminario sobre Contaminación Ambiental realizado en Guayaquil, de 24 - 28 XI/75 por Colegio de Ings. Civiles del Guayas.
- Nº 2, Nº 3. Detalles específicos de cada uno de estos tipos - consultar: "Air Pollution and Industry" by R.D. Ross. "Air Pollution Engineering Manual" (Bibliografía 2 y 3)

FUENTES DE INFORMACION

1. Dpto. Ing. Mecánica. E.S.P.O.L. Guayaquil - Ecuador.
2. Industria de Cemento: "San Eduardo" - Guayaquil - Ecuador.
3. Dpto. Saneamiento Ambiental - Municipio - Guayaquil-Ecuador
4. Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (I.E.O.S.) Ministerio de Salud Pública - Quito - Ecuador.
5. Ministerio de Industrias, Comercio e Integración - Quito - Ecuador.
6. Instituto Politécnico - Londres - Inglaterra.
7. Departamento de Control de Contaminación del Aire - New York City (Wall Street - Manhattan - New York - N.Y. U.S.A.)
8. A.S.M.E. (Sociedad Norteamericana de Ingenieros Mecánicos) (345 East 47th Street, New York - N.Y. 10017).
9. Beltran Associates Inc. (Empresa Privada de Consultoría Técnica (1133 East 35th Street Brooklyn 10, New York).

BIBLIOGRAFIA

1. MIGUEL ANGEL CORZO. "Introducción a la Ingeniería de Proyectos" Editorial Limusa (México) 1973.
2. BY THE EDITORS OF POWER. "Power Generation Systems". McGraw - Hill Book Co. 1967. U.S.A. pag. 137-184.
3. JOHN A. DANIELSON. "Air Pollution Engineering Manual". National Center for Air Pollution Control - Ohio USA 1967.
4. R.D. Ross "Air Pollution and Industry". Litton Educational Publishing, Inc. 1972, U.S.A.
5. JAMES MARSHALL. "El Aire en que vivimos". Editorial Diana (México) 1972.
6. U.N.E.S.C.O. "S.O.S. Contaminación S.O.S.". Revista: El Correo. Julio 1971. España.
7. COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DEL GUAYAS. "Seminario sobre Contaminación Ambiental". Nov. 24-28/75 Guayaquil - Ecuador.
8. Ph. D. RIVERA. "Seminario sobre Contaminación Ambiental". Comisión Fullbright - Facultad de CC.Q.Q. Universidad de Guayaquil - Julio 19-23/76. Ecuador.
9. MINISTERIO DE INDUSTRIAS, COMERCIO E INTEGRACION. "Directorio Industrial 1957 - 1974". Dirección General de Desarrollo Industrial. Quito - Ecuador.
10. S.S. ROSEN. "Air Quality Considerations in Environmental Planning". An A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers) Publication July 25/1975. New York, U.S.A.
11. H.J. WHITE. "Industrial Electrostatic Precipitation" Reading, Mass: Addison - Wesley, 1963. U.S.A.

12. WHITE H.J. and WALTER A. BAXTER Jr. "A superior Collecting Plate for electrostatic Precipitators". Preprint A. S.M.E. New York, U.S.A.1959. Paper 59-A-279.
13. ROBERT J. PLASS and HAROLD H. HAALAND. "Electrostatic Precipitators in the Cement Industry". Presented at the Electrostatic Precipitation Seminar. Pennsylvania - State University. U.S.A.
14. SEVERSKY ELECTRONATOM CORPORATION. "Pollution Control and by product recovery Systems for the chemical process Industries". U.S.A.
15. BELTRAN ASSOCIATES INC. "Air Pollution - Electrostatic Precipitators". (Sugerencias - asesoramiento profesional - Apuntes). Brooklyn - New York. U.S.A.
16. NATIONAL AIR POLLUTION CONTROL ADMINISTRATION. "Control - techniques for Particulate Air Pollutants". Washington D.C. January 1969.
17. THOMAS E. KREICHEL, DOUGLAS A. KENNITZ and STANLEY T. CUFFE "Atmospheric Emissions from the Manufacture of Portland Cement". National Center of Air Pollution Control. Ohio. U.S.A.
18. WILHELM KOEHLER and GERHARD FUNKE. "Dust Control in The Cement Industry of the German Federal Republic" West Germany.
19. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. "Compilation of Air Pollutant Emission Factors". Second Edition. April 1973.
20. VICTOR STREETER. "Mecánica de los Fluídos". MC Graw Hill.
21. FAIRES. "Termodinámica". U.T.E.H.A.

22. JOSEPH EDWARD SHIGLEY. "El Proyecto en Ingeniería Mecánica".
23. HOWARD HARRISON, JOHN BOLLINGER. "Controles Automáticos".
24. U.S. NAVY. "Mecanismos Básicos".
25. A.P.C.A. (Air Pollution Control Association). "Resistivity Problems in Electrostatic precipitation". Journal of the A.P.C.A. April 1974. Volume 24, Number 4.