

116
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PRINCIPIOS BÁSICOS DE DISEÑO
FABRICACIÓN Y MONTAJE DE
PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

JOSE FRANCISCO REYNA FRAGOSO
JOSE MANUEL LARA VALENCIA



MEXICO, D. F.

HECHO CON
FALLA DE ORIGEN

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE GENERAL

INTRODUCCION

CAPITULO I

GENERALIDADES

- 1.1 ELEMENTOS DE ELECTROSTATICA.
- 1.2 PRINCIPIO DE OPERACION DE PRECIPITADORES ELEC -
TROSTATICOS.
- 1.3 CLASIFICACION DE PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.
- 1.4 DIVERSOS TIPOS DE COMBUSTIBLES.
- 1.5 COMBUSTION.
- 1.6 EMISIONES DE PARTICULAS.

CAPITULO II

PULSACION DE ENERGIA ELECTRICA

- 2.1 VELOCIDAD DE MIGRACION.
- 2.2 EFECTO DE PROPIEDADES ELECTRICAS (CORONA).
- 2.3 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA.
- 2.4 OPOSICION DE LA IONIZACION DEL POLVO (RESISTIVI-
DAD).
- 2.5 FUERZAS DE CAMPO ELECTRICO EN LA CAPTACION DE -
LAS CAPAS DE POLVO.
- 2.6 DISTRIBUCION DE LA ENERGIA ELECTRICA EN LOS ELEC
TRODOS EMISORES.
- 2.7 OPERACION DE LA PULSACION DE LA ENERGIA ELECTRI-
CA.

CAPITULO III

OPTIMIZACION

3.1 TIPOS DE PULSACION.

3.2 SISTEMA GLOBAL DE CONTROL Y SUS PARTES.

CAPITULO IV

CRITERIOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DE PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

4.1 INTRODUCCION.

4.2 TECNICAS DE MEDIDA.

4.3 VELOCIDAD TERMINAL.

4.4 COLECTORES Y SEPARADORES DE POLVO.

CAPITULO V

FACTORES QUE DETERMINAN EL DISEÑO DE LOS PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

5.1 INTRODUCCION.

5.2 TIPO DE COMBUSTIBLE.

5.3 SELECCION DEL TAMAÑO DEL PRECIPITADOR.

5.4 COMPONENTES Y ACCESORIOS INTERNOS DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.

5.5 TEORIA BASICA.

5.6 AREA ESPECIFICA DE COLECCION.

5.7 TEMPERATURA

5.8 PRESION.

CAPITULO VI

MONTAJE DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

6.1 MONTAJE.

6.2 PROCEDIMIENTOS PARA SUPERVISAR LA CONSTRUCCION Y/O MONTAJE DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.

6.3 TRABAJOS QUE SE EFECTUARAN DESPUES DEL ARMADO - DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.

- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

- BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION

El objetivo del presente tema está motivado por la inquietud de profundizar y ampliar los conocimientos en el desarrollo de sistemas y equipos que ayuden a tener un mejor control de los elementos contaminantes, que por sus altas concentraciones tóxicas de polvos y gases afectan el medio ambiente.

Uno de los sistemas más eficientes y completos son los **PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS**, los cuales garantizan una eficiencia de operación arriba del 99%. Por tal efecto y considerando los programas anticontaminantes y de mejoramiento del medio ambiente planteados y requeridos por las autoridades gubernamentales y aplicados a industrias altamente contaminantes como son las termoeléctricas, carboeléctricas, cementeras, ingenios de azúcar, papeleras, etcétera, desarrollaremos los principios que son la razón de esta tesis.

La finalidad de este trabajo no es elaborar un manual de operación y funcionamiento de los **PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS**, ya que el desarrollo y estudio de un precipitador dependiera de las condiciones particulares para cada caso específico.

Dentro del desarrollo que integran este trabajo se pretende sugerir la mejor forma de diseñar y optimizar todos y cada uno de los elementos que integran o forman parte de un **PRECIPITADOR ELECTROSTATICOS** con el objeto de lograr una disminución en las

emisiones de partículas contaminantes de empresas como las mencionadas, y que desean implantar un equipo o sistema de este tipo, ya que actualmente son pocas las empresas y personas con información accesible sobre el tema.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 ELEMENTOS DE ELECTROSTATICA

ELECTRIZACION POR CONTACTO: Los átomos de una sustancia cualquiera, contienen un número igual de protones y eletrones. Por consiguiente, la materia no presente, de ordinario, efectos eléctricos, y se dice que es eléctricamente neutra o que está descargada. Si alteramos por algún procedimiento el equilibrio de protones y electrones, esto es, si un cuerpo tiene exeso o deficiencia de electrones, se dice que está cargado, y hablaremos simplemente de una carga. Hay muchos medios por los cuales puede alterarse el equilibrio entre las cargas positivas y negativas. El más antiguo, historicamente, es el fenómeno de electrización por frotamiento.

Existen dos tipos de cargas eléctricas; positivas y negativas las cargas del mismo signo se repelen y las de signo contrario se atraen.

Si se frota una barra de ebonita con una piel de gato y se aproxima a una bolita de médula de sauco suspendida de un hilo de seda, la bolita de sauco es atraída al principio por la ebonita y posteriormente del instante de contacto es repelida. Dos bolitas de médula de sauco que han sido tratadas de igual modo se repelen mutuamente. Por otra parte, cada bolita es atraída por la piel de gato. La explicación de estos fenómenos es que cuando la ebo-

nita y la piel de gato se ponen en contacto hay una transmisión espontánea de electrones de la piel de gato a la ebonita, con lo cual ésta adquiere un exeso de electrones y resulta cargada negativamente, mientras que la piel de gato, que ha perdido algunos electrones, resulta cargada positivamente.

Cuando la bolita se pone en contacto con la barra cargada negativamente algunos de los electrones en exeso de la barra pasan a la bolita, observandose entonces una repulsión entre la barra y la bolita, o entre dos bolitas cargadas, lo cual evidencia que los cuerpos que llevan cargas de la misma clase se repelen.

Todos los fenómenos de electrostatica son simplemente manifestaciones de estas fuerzas entre los cuerpos cargados o entre las entidades fundamentales de carga de electrones y protones.

La expresión electrostática no es del todo aceptada, puesto que las cargas sobre las cuales actúan las fuerzas eléctricas están frecuentemente en movimiento.

Las medidas efectuadas demuestran que la carga adquirida por la ebonita cuando se pone en contacto con la piel de gato es exactamente igual y opuesta a la adquirida por la piel de gato. No hay creación de carga eléctrica en el proceso de electrización si no simplemente una transmisión de carga de un cuerpo a otro.

La electrostática es la ciencia que estudia las propiedades y acción reciproca de las cargas eléctricas en reposo con respec-

to al sistema inercial de referencia elegido para su estudio.

LEY DE COULOMB: Un cuerpo cargado es aquel que tiene cierto número de protones o de electrones en exceso, y el valor de la carga neta queda definido por este número. Sin embargo, en la práctica, la carga de un cuerpo se expresa en función de una unidad mucho mayor que la carga de un electrón o protón. Utilizaremos las letras "q" o "Q" para representar la cantidad en exceso de carga positiva o negativa de un cuerpo aplazando por el momento la definición.

La primera investigación cuantitativa de la ley que rige las fuerzas que se ejercen entre los cuerpos cargados fué realizada por **CHARLES COULOMB**, utilizando para efectuar las medidas una balanza de torción del tipo empleado trece años después por **CAVEDISH** para medir las fuerzas gravitatorias dentro de los límites de precisión de sus medidas. **COULOMB** demostró que la fuerza de atracción o repulsión entre dos cuerpos cargados es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

$$F = \frac{1}{r^2} \dots\dots\dots (1)$$

El concepto de cantidad de electricidad no era conocido con precisión en tiempos de **COULOMB**, y no se había ideado ninguna unidad de carga ni tampoco un método de medida. Trabajos posteriores han demostrado que, a una separación dada, la fuerza entre

dos cuerpos cargados es proporcional al producto de sus cargas individuales, q y q' , esto es:

$$F = \frac{q q'}{r^2} \dots\dots\dots (2)$$

Esta proporción puede convertirse en igualdad multiplicando por una constante K .

$$F = K \frac{q q'}{r^2} \dots\dots\dots (3)$$

El valor de la constante K de proporcionalidad depende de las unidades en las cuales se expresen la fuerza, la carga y la distancia. Cualquiera de las relaciones 1 o 2 se denomina ley de COULOMB y puede enunciarse de la siguiente manera.

"LA FUERZA DE ATRACCION O REPULSION EJERCIDA SOBRE UN CUERPO CARGADO POR OTRO ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL AL PRODUCTO DE SUS CARGAS E INVERSAMENTE PROPORCIONAL AL CUADRADO DE LA DISTANCIA QUE LOS SEPARA".

Subceptible de ciertas generalizaciones en la forma dada anteriormente queda restringida a cargas puntuales, esto es, a cargas o cuerpos cargados cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con las distancias que los separan. Si hay materia en el espacio comprendido entre las cargas negativas por ejemplo si los cuerpos cargados estan en el aire las fuerzas entre ellos se modifican a causa de las cargas inducidas en las moléculas del me-

dio que los rodea, desde el punto de vista práctico, la ley puede utilizarse tal como se ha escrito, para cargas puntuales situadas en el aire ya que a la presión atmosférica el efecto del aire solo modifica la fuerza que se ejercería en el vacío en $1/2$ por cada 1000.

La misma ley se cumple, cualquiera que sea el signo de las cargas q y q' . Si las cargas son del mismo signo la fuerza es una repulsión, si son de signo opuesto, una atracción. Sobre cada una de las cargas se ejercen fuerzas del mismo valor y sentidos opuestos.

1.2 PRINCIPIO DE OPERACION DE PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

La figura 1, muestra el principio básico de operación de un **PRECIPITADOR ELECTROSTATICO** el cual limpia los gases producto de la combustión en hornos, calderas y generadores de vapor, mediante energía eléctrica para coleccionar las partículas de polvo o cenizas en suspensión que existen en el flujo de los gases calientes que van directo a la chimenea del equipo.

Los gases calientes y sucios a la vez se hacen pasar a través de un campo eléctrico intenso establecido entre los electrodos de polaridad opuesta. Los electrodos de descarga, llamados así por el efecto corona que resulta de la aplicación de alto voltaje, imparten una carga a las partículas, atraídas entonces a los electrodos colectores, los cuales son positivos con respecto

a los electrodos de descarga.

En el caso de particulas de polvo se forma una capa en el colector conectado a tierra, hasta que el sistema vibratorio o de martillos golpeadores desaloje y rompa la capa en grandes aglomerados lo suficientemente pesados para evitar que el flujo de gases se los lleve.

Es necesario hacer notar que los **PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS** no pueden separar gases como tales, sino soloamente particulas extrañas en el flujo. A pesar de los esfuerzos realizados para obtener ecuaciones satisfactorias fundamentadas en la teoria elemental para predecir el comportamiento de los **PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS**, el diseño en la actualidad, se basa totalmente en la experiencia de los usuarios y fabricantes. Ademas debido al estado incompleto de la teoría, el diseño se apoya en gran en la experiencia de los procesos o materiales similares y cuando éstos no estan disponibles se recurre al uso de precipitadores pilotos a escala proyectados para comparar las características de precipitación de los polvos y cenizas bajo las condiciones de operación.

FACTORES DE OPERACION: A continuación se presentan algunos de los factores que determinan el funcionamiento de un **PRECIPITADOR ELECTROSTATICO**.

- 1.- Flujo de gases, los cuales estan en funcion de:
 - a) Densidad
 - b) Composición
 - c) Temperatura
 - d) Viscocidad.
 - e) Velocidad en el campo eléctrico y su distribución

- 2.- Partículas de polvo y humo:
 - a) Tamaño
 - b) Composición
 - c) Forma
 - d) Concentración
 - e) Resistividad eléctrica
 - f) Gravedad específica
 - g) Propiedades de su superficie

- 3.- Electrodo de descarga y colección
 - a) Perfil de los electrodos colectores
 - b) Perfil de los electrodos de descarga
 - c) Espaciamiento de los electrodos colectores
 - d) Espaciamiento de los electrodos de descarga
 - e) Depositos de polvo en los electrodos colectores
 - f) Depositos de polvo en los electrodos de descarga
 - g) Presición en la fabricación del sistema de electrodos
 - h) Reentrada de polvo en los gases causada por el mecanismo de los electrodos colectores para desalogaarlo.
 - i) Mecánismo para desalogar el polvo de los electrodos de descarga.

4.- Electricos

- a) Intensiudad de campo
- b) Corriente corona
- c) Tamaño de la subsección energizada por cada rectificador de alta tensión.
- d) Polaridad de corriente directa
- e) Diseño del rectificador de alta tensión.

Además del gran número de variables involucradas, el efecto de estas aun no esta totalmente comprendido; por ejemplo los métodos de medición no son suficientemente precisos ni reproducen con exactitud los resultados: Esto se aplica particularmente al tamaño de las partículas y a la resistividad de la ceniza.

La mayoría de los factores listados se han establecido para un diseño en particular de precipitador. Por ejemplo, el diseño de los sistemas de electrodos de descarga y colección, y otros, como aquellos que estan en contacto con los gases y la ceniza, se encuentran relacionados con el proceso al cual se integra el precipitador. De manera similar, la intensidad de campo eléctrico que puede aplicarse y la corriente corona que fluye en el precipitador, se determina principalmente por las características del gas y de la ceniza, aunque el diseño de electrodos también tiene cierta influencia.

1.3 CLASIFICACION DE PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

PRECIPITADORES ELECTRICOS: Cuando las partículas suspendi -

das en un gas se exponen a iones gaseosos dentro de un campo electrostatico, adquieren una carga y se desplazan bajo la acción. Los mecanismos funcionales de la precipitación eléctrica son los que indican a continuación.

1.- Ionización de gas

2.- Recolección de particulas

- a) Generación de un campo electrostático para provocar la carga y el movimiento de las particulas de polvo.
- b) Retención del gas para permitir el movimiento de las particulas hacia una superficie de recolección.
- c) Prevención del rearrastre de las particulas recolectadas.
- d) Separación de las particulas recolectadas del equipo.

Hay dos clases generales de PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS:

- 1).- El de una sola etapa, en el cual la ionización y la recolección se combinan.
- 2).- El de dos etapas, en el cual la ionización se logra en una porción del equipo, seguida por recolección en otra

Varios tipos de cada clase difiere esencialmente en los detalles que permiten realizar cada función.

PRECIPITADORES DE UNA SOLA ETAPA: El tipo de unidad de una sola etapa conocido comunmente como precipitador COTTRELL, se usa casi siempre para la recolección de polvos o "neblinas" de gases procesos industriales. La descarga de corona se mantiene en todo el precipitador y, además de suministrar la ionización inicial, también sirve para evitar la redispersión del polvo precipitado y

recarga los iones de partículas neutralizadas o descargadas. Los precipitadores COTTRELL se dividen en dos clases principales: el llamado tipo de placa (Ver figura 2) en el cual los electrodos colectores consisten en placas, pantallas o hileras de varillas, cadenas o alambres, en configuración paralela, y el tipo de tubería en donde los electrodos colectores se componen de un conjunto de tuberías paralelas que pueden ser cuadradas, redondas o de cualquier otra forma. Los electrodos de descarga o precipitación, en cada caso, son alambres o varillas, ya sea redondo o con aristas, que se ponen hacia la mitad de la distancia entre los electrodos colectores, o bien, en el centro de las tuberías, y pueden ser paralelos o perpendiculares a la corriente de gas en caso de que se trate de precipitadores de placa. En algunas aplicaciones, se utilizan electrodos de descarga semejantes a alambres de puas, como se observa en la figura 3. Este diseño se basa en el principio de que cuanto más aguda sea la forma del electrodo, tanto menor será el voltaje necesario para producir una corriente de corona dada. Puesto que la eficiencia de la recolección de polvos se relaciona directamente con la velocidad de suministro de energía eléctrica al gas, se dice que este tipo de electrodo producirá la misma eficiencia de recolección a un voltaje menor que otros tipos de electrodos.

En los precipitadores de tubos, la corriente de gas es casi siempre vertical y ascendente por el tubo, aunque el flujo descendente no es del todo raro. El precipitador del tipo de tubos se

emplea habitualmente para separar partículas de líquido y humos volatizados, y el tipo de placa se emplea primordialmente para polvos. En el tipo de tubos los electrodos de descarga se suspenden por lo común de un sostén aislado y se mantienen tensos por medio de un peso colocado en la base.

GOLPETEO: El polvo recogido se desaloja de los electrodos de un modo periódico o continuo utilizando un mecanismo de golpeo o raspado, que opera de manera automática o manual. El golpeo automático, ya sea o golpeadores de tipo impacto o vibrador es el método que se practica más comunmente. El golpeo con fuerza excesiva hace que el polvo vuelva a ser arrastrado y puede provocar fallas mecánicas de las placas, en tanto que si es insuficiente, el polvo se concentrará en exceso y esto generará un funcionamiento deficiente y una menor eficiencia de recolección. El golpeo intermitente a intervalos de una hora o más genera bocanadas gruesas de polvo que se ha vuelto a arrastrar.

Los precipitadores de placa perforada o cortina de varillas se golpean a menudo sin cortar el flujo del gas y con los electrodos energizados; sin embargo, este procedimiento genera una tendencia al rearrastre del polvo recogido. Se usan electrodos colectores del tipo seccional o de placa compuesta (denominados a veces electrodos huecos, de bolsa o en forma de tulipan), para minimizar esta tendencia en la separación continua del material precipitado, a condición de que tenga un movimiento libre. En general estos se diseñan para un flujo vertical y comprenden un

electrodo colector que contiene un espacio muerto de aire y esta provisto con ranuras horizontales calientes, que guía el polvo hacia dicho espacio.

PRECIPITADORES DE DOS ETAPAS: En los precipitadores de dos etapas la descarga de corona se produce en la primera entre dos electrodos que tienen un campo no uniforme (ver figura 4). Esto se obtiene casi siempre por medio de un electrodo de descarga de alambre fino y un electrodo receptor de diametro grande. En esta etapa, la diferencia de potencial debe ser mayor que lo que se requiere para la descarga de corona. La segunda etapa comprende un campo electrostatico relativamente uniforme en el cual las particulas cargadas se ven obligadas a emigrar a la superficie colectoras. En general esta etapa consta de placas paralelas cargadas en forma alterna o cilindros concentricos con espacios libres, o mas o menos reducidos, en comparación con su diámetro. El unico requisito de voltaje en esta etapa es que no se produzcan chispas; aunque los voltajes más elevados generaran un aumento de la eficiencia de recolección puesto que ésta ocurre en ausencia de la descarga de corona, no hay modo de recargar las particulas rearrastradas y descargadas. En consecuencia, se deben proporcionar algunos medios para evitar el rearrastramiento de las particulas, una vez que se depositan en la superficie del colector. Es también esencial que se tenga el tiempo y el mezclado suficiente entre la primera etapa y la segunda para asegurar una buena distribución de los iones de gas en la corriente del mismo, y que las

partículas de polvo se carguen debidamente.

En la figura 5 se ilustra uno de los primeros tipos de precipitadores de dos etapas que se utilizan para limpiar gases de procesamiento: En esta unidad, el electrodo ionizante de la primera etapa es sencillamente, una extensión de diámetro pequeño del electrodo de precipitación de la segunda etapa. El rearrastré se evita y se logra una limpieza continua del electrodo colector haciendo circular una película de agua desendente por el interior del electrodo colector.

Sin embargo, la aplicación en gran escala de los precipitadores de dos etapas es un acontecimiento reciente, que se desarrollo en el campo del acondicionamiento de aire. En la figura 6 se ilustra una de las más típicas, cuya aplicación primaria a sido purificación del aire atmosférico. En estas unidades, las etapas de ionización y recolección se construyeron en secciones separas de tamaño estandarizado y las unidades múltiples de cada etapa se ensamblan en paralelo para satisfacer una capacidad específica.

1.4 DIVERSOS TIPOS DE COMBUSTIBLES

Por el término combustible entendemos aquellas substancias ya sean naturales o artificiales que pueden existir en cualquiera de éstos estados sólidos, líquidos y gaseosos.

Los combustibles reaccionan con el oxígeno en forma espontánea o inducida, liberando en este proceso una cantidad de energía calorífica. Esta reacción de oxidación, conocida en el área quí-

mica con el nombre de combustión es aplicada en las máquinas térmicas desde dos puntos de vista diferentes. El primero se refiere al aprovechamiento de esta energía calorífica resultante de la combustión para calentar lo que hemos considerado la sustancia de trabajo que generalmente es agua.

La segunda forma es como se utiliza dicha reacción aprovechando la característica de expansión de los combustibles líquidos que al reaccionar cambian de estado, lo que genera un aumento de volumen en los gases resultantes y este fenómeno es el que se aprovecha para efectuar una transferencia de calor en el hogar de las calderas.

COMBUSTIBLES SÓLIDOS: El carbón mineral, es un combustible negro o café negrusco, formado por la descomposición parcial de los materiales vegetales sin contacto con el aire y con la influencia de presión y temperatura.

COMBUSTIBLES LÍQUIDOS: Los combustibles líquidos se obtienen principalmente a partir del petróleo crudo o destilación seca de carbones fósiles.

COMBUSTIBLES GASEOSOS: Los combustibles gaseosos son compuestos de mezclas carbonadas y se obtienen en forma natural de los gases que se expulsan en la extracción de petróleo.

1.5 COMBUSTION.

Combustión es el conjunto de combinaciones químicas que se

producen en ciertas condiciones, liberando calor cuando se reunen un combustible y un comburente.

COMBURENTE: El comburente utilizado es normalmente el aire de la atmosfera. El análisis químico del aire permite distinguir un gas activo, el oxígeno que se combina con los elementos activos del combustible y que representa el 21% del volumen del aire. Dentro de los gases inertes el más importante es el nitrógeno, el cual se encontrara en los residuos de la combustión que representa el 79% del volumen del aire.

Existen dos condiciones para que el fuego se mantenga, suficiente cantidad de combustible así como comburente.

Estas dos condiciones estan aseguradas por la alimentación continua de combustible y aire.

Una vez cumplidas estas condiciones: Temperatura suficiente, presencia del combustible, presencia del comburente dara lugar a la aparición de la flama.

En los hogares de carbón pulverizado no se puede distinguir la combustion de materia volatil con el coque, la total combustion se realiza en el interior de la flama. Cada pequeña partícula de combustible se destila a su llegada al hogar y arde.

Esta se encuentra constituida por la combustión de pequeñas particulas.

1.6 EMISIONES DE PARTICULAS

Los productos generados de la combustión en cualquier combustible son conocidos como cenizas volátiles.

En el caso particular de las calderas y generadores de vapor los gases calientes producto de la combustión son conducidos, hacia el sobre calentador, el economizador y el precalentador con el fin de aprovechar la temperatura de los gases los cuales al mismo tiempo van dejando cenizas en los equipos mencionados, estas cenizas posteriormente son removidas por sopladores de hollín

Los gases calientes posteriormente deben ser conducidos hacia el **PRECIPITADOR ELECTROSTATICO** para que el mismo se recojan las cenizas volátiles mencionadas.

PROPIEDADES DE LA CENIZA: La Resistividad Eléctrica es la oposición de las partículas a ser ionizadas, esto depende del combustible, temperatura y humedad de los gases.

La resistividad de las partículas puede ser determinada en una celda conductiva de alto voltaje en la cual una muestra de espesor conocido se coloca entre dos electrodos de carga opuesta. Los guardaanillos eliminan los efectos de borde. El potencial en los dos electrodos se incrementa y el voltaje y la corriente se anotan hasta que ocurre un corto circuito. Se calcula la resistividad y se reporta en ohms por centímetro.

DENSIDAD: Es la cantidad de masa en volumen determinado en los carbones y varía entre 1.9 y 2.9 kg/m³.

DISPERSIDAD: Es la propiedad que presenten las cenizas volátiles producto de la combustión a ser distribuidas.

ABRASIDAD: Desgaste que provocan las cenizas volátiles en su trayectoria por los ductos.

CONGLUTINIDAD: Capacidad de adherirse en las paredes del equipo separador de cenizas como son: ductos o chimeneas.

EMISIONES EN PLANTA DE FUERZA: Tres clases de emisiones son juzgadas desde el punto de vista de calidad del aire: partículas de materia, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. Históricamente las partículas de materia han recibido la más grande atención porque son fácilmente vistas y frecuentemente constituyen una molestia pública. Lo concerniente acerca de los óxidos de azufre viene desde los posibles efectos sobre la salud y su potencial daño a la salud. Los óxidos de nitrógeno tiene especial significación porque participan en complejas reacciones químicas que llevan a la formación de smog en la atmósfera.

Las emisiones de carbón caliente de calderas varían considerablemente dependiendo del contenido de cenizas del carbón y el tipo de quemador. Un carbón pulverizado puede generar de 60 a 80% de cenizas que abandonan normalmente el horno con el flujo de gas. El balance de las cenizas que salen a través del sistema de remoción de la caldera. En la figura 7 se ilustra la alta eficiencia requerida del equipo colector de partículas para carbones con alto contenido de cenizas y bajo nivel de las mismas.

Como la ceniza volante no es homogénea en propiedades tales como gravedad específica y forma de las partículas el tamaño es muy difícil de describir en términos absolutos.

La ceniza volante es una combinación de residuos inertes o inorgánicos en partículas de carbón pulverizado, con cantidades variables de partículas de coque resultado de la combustión incompleta. En general las partículas de ceniza inorgánica consisten primeramente de silicatos, óxidos y sulfatos junto con pequeñas cantidades de fosfatos y otros componentes. El tamaño de las partículas varía desde menos de 0.01 micras de diámetro hasta arriba de 100 micras. La figura 8 basada sobre datos de pruebas muestra la distribución de tamaños entre 2 y 50 micras de diámetro.

CONTROL DE EMISIONES PARTICULARES: El control de emisiones particulares lleva a métodos de remoción de partículas dispersas en los gases efluentes de plantas comerciales y de procesos industriales.

Estas dispersiones comúnmente conocidas como aerosoles o dispersores obtenidos a través de un uso general, viene a incluir todas las partículas en el aire y otros gases. Los dispersores están caracterizados por sus propiedades físicas, químicas y eléctricas, el tamaño y estructura de sus partículas, relación de asentamiento, baja gravedad, actividad óptica, la habilidad de absorber carga eléctrica.

La relación superficie volumen y la relación de reacción química. Las partículas mayores de 100 micras son excluidas de esta consideración debido a que se asientan rápidamente.

Por otro lado las partículas de una micra se asientan lentamente y son referidas como suspensión permanente.

Los dispersores son generalmente clasificados como polvo, humo, gases y neblina. La figura 9 A indica los dispersores comunes y el tamaño de la partícula típica para cada clasificación. La figura 9 B muestra los dispositivos para coleccionar las clasificaciones de dispersores.

CAPITULO II

PULSACION DE ENERGIA ELECTRICA

2.1 VELOCIDAD DE MIGRACION O IMPULSO

La velocidad de impulso también llamada "razón de precipitación", está determinada por la magnitud de la carga de la partícula, la resistencia del campo eléctrico y por la ley de STOKES para el arrastre de las partículas, hay una discrepancia significativa entre los valores teóricos del doble de los reales o más. Esta pérdida de realización es causada por factores tales como desigual flujo de gas, difusión de las partículas, viento eléctrico, tiempo de descarga de las partículas y pérdida de materia desde la superficie colectora por reentrada.

Debido a estas incertidumbres y a los efectos de la producción de concentraciones variables SO y sodio en el flujo de gas y las cenizas es necesario transportarlos al campo experimental con una variedad de instalaciones de precipitadores donde la experiencia es limitada, los diseños son establecidos por experimentos y plantas piloto.

2.2 EFECTO DE PROPIEDADES ELECTRICAS (CORONA)

La conductividad eléctrica de las cenizas y la resistencia dieléctrica del tamaño de las cenizas son dos propiedades importantes del proceso de colección electrostática. Para una operación efectiva, una pequeña pero definida cantidad de corriente eléctrica, en forma de corona de iones de gas, fluye entre los

electrodos de descarga de alta tensión y los electrodos colectores. Esta corriente debera pasar a través de las capas colectoras de ceniza que normalmente recubren las placas. Entonces la ceniza debera conducir la corona de corriente a la superficie aterrizada de la placa metalica. La conductividad requerida es muy cerca a 10^{10} mho. En la práctica es usualmente más conveniente expresarlo en terminos de resistividad que es la inversa de la conductividad.

La resistencia dieléctrica de las cenizas colectadas sobre los electrodos de placa es también una importante propiedad eléctrica de la ceniza. El flujo de la corona de corriente a través de las capas de la ceniza, produce una caída de potencial a través de las mismas, de acuerdo con la ley de OHM. Cuando la resistividad de la ceniza está cerca de zona crítica (2×10^{10} ohm por cm), el voltaje cae a través de la capa típica con aumento de varios KV. La existencia de esta caída de voltaje a través de las capas puede ser suficiente par causar un trastorno eléctrico. Cuando esto esperado, relampaguea a través de las capas de polvo y se propaga a los electrodos de descarga. Esta es la fuente de los relampagos intensificados que ocurren con polvos de excesiva resistividad. Claramente la más alta resistencia dieléctrica o de ruptura de las capas de polvo es la más alta resistividad que puede ser tolerada por una cantidad dada de corona de corriente. Esto es, polvos de relativamente alta resistencia de ruptura son menos sencitivos a efectos de resistividad que los de baja.

2.3 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

Las elevaciones de la temperatura detodian las propiedades eléctricas del gas disminuyendo los límites de las descargas descriptivas, tanto que, la operación de alto voltaje del precipitador tiene que ser reducida, también se debilita la fuerza de campo, afectando la fuerza de captación para cada partícula de polvo resultando un incremento en la viscosidad del gas y el arrastre de partículas. Estos fenómenos contribuyen a una baja velocidad de migración de las partículas como se ilustra en la figura 12.

Ciertamente algunos tipos de carbón producen una ceniza con relativamente bajo punto de fusión. El contenido mineral se puede fundir dentro de una partícula de ceniza en forma casi esférica y cuya medida depende del tamaño el producto promedio resultante de la combustión es una ceniza gruesa con alta velocidad de migración y una curva típica es la que se muestra en la figura 10.

El punto de fusión de otros tipos de carbón es alto como resultado de la no fusión ocurrida. Sin considerar la medida original de las partículas de carbón que resulta en una ceniza más fina, con una velocidad de migración representada en la curva "Y" en la figura 12.

La ceniza volátil representada en la curva "Y" requiere un precipitador dos veces más largo como se requiere para la ceniza

volatil que se muestra en la curva "X", en una ordenación para lograr la misma eficiencia de captación.

2.4 OPOSICION DE IONIZACION DEL POLVO (RESISTIVIDAD)

La resistividad eléctrica del polvo es importante en el funcionamiento de un precipitador, la figura 11 muestra una curva típica de resistividad, donde el equipo utilizado es totalmente aislado o semiconductor, la resistencia de la ceniza volatil, de- crece con elevadas temperaturas. El fluido de gas contiene va - por de agua que se produce por temperaturas en el punto de rocío cercanas a los 40°C. Existen pequeñas cantidades de azufre, el efecto de éste, es elevar el punto de rocío, si este azufre no es neutralizado por el contenido alcalino del polvo.

En temperaturas a bajo del punto de rocío, el polvo también puede absorber umedad a través de absorciones químicas o físicas. La humedad reduce la resistividad tanto que tiende a cero en el punto de rocío, en terminos de operación práctica. A bajas tem- peraturas, la curva de resistividad tiende a cero. En alguna temperatura media, cercana a los 150°C, la curva de resistividad alcanza un máximo.

Estos problemas pueden ser anticipados dentro de un rango de temperaturas t_1 a t_2 y pueden ser atribuidos al decrecimiento de la velocidad de migración del polvo, ver figura 12. Trabajar en el punto "B" requiere de un precipitador cuatro veces más largo del que opera en el punto "A".

2.5 FUERZAS DE CAMPO ELECTRICO EN LA CAPTACION DE LAS CAPAS DE POLVO.

La figura 13 muestra un detalle del electrodo captador, incluyendo las capas de polvo captadas. Una corriente de iones (polvo puramente cargado), arriba continuamente de los electrodos de descarga representa una corriente eléctrica entre 0.1 y 0.5 por m² de superficie de captación. La corriente obliga a pasar la capa de polvo en orden para alcanzar la caída de voltaje por la capa y la operación de un campo eléctrico dentro de ella. La ley de ohm determina la medida del campo eléctrico.

$$E = RI \text{ [N/COULOMB]}$$

DONDE: E = Intensidad de campo eléctrico

R = Resistividad

I = Intensidad de la corriente

EFFECTO DE FUERZA REGULAR: El campo eléctrico representa una fuerza que sujeta al polvo contra el electrodo captador. Cuando la capa de polvo es removida del electrodo por golpe de percusión, la capa se desliza hacia abajo a lo largo de la superficie de la lámina lentamente por la fricción contra la lámina. El polvo es transportado hacia una tolva sin un remezclado excesivo en la corriente del gas. Si la percusión ocurre en el momento cuando el rectificador de alto voltaje es desconectado, las capas de polvo caen sin impedimentos, evitando que grandes cantidades de polvo comiencen a dispersarse dentro del gas.

EFEECTO DE FUERZA EXTREMA: Si la resistividad del polvo, es muy grande, la fuerza de campo puede ser más alta de lo normal. La fuerza que sostiene al polvo puede ser tan grande que el limpiado de los electrodos captadores es problemático. A la vez resultan en grandes acumulaciones de polvo que lleguen a ser irregulares. Incrementando la masa amortiguadora del electrodo e interfiriendo con el suministro de la energía eléctrica.

CORONA INVERSA: Una fuerza de campo en las capas de polvo puede avanzar semejante a una corona de descarga, produciendo grandes cantidades de iones positivos y negativos, ver figura 14, los iones negativos emigran rápidamente al electrodo captador, los iones positivos son extraídos a un espacio, entre los electrodos para una migración futura a los electrodos negativos. Sólo entonces, existen iones positivos y negativos en el espacio entre los electrodos, neutralizándose y que la capacidad del polvo es impedida cuando la capacidad de captación del precipitador se reduce.

2.6 DISTRIBUCION DE LA ENERGIA ELECTRICA EN LOS ELECTRODOS EMISORES.

En un bajo voltaje no se obtiene una corona eléctrica que es denominada voltaje de aparición de corona. Por naturaleza la corona negativa ocurre con algunos principios débiles, ver figura 15 A, como el voltaje y por lo tanto la corriente se incrementa, la corona se observa multiplicadamente ver figura 15 B. En el primer caso se observan grandes áreas sin descarga (sin iones,

sin partículas y precipitación pobre). Un promedio mínimo de la densidad de la corriente es requerido a lo largo de la superficie captadora para obtener una superficie aceptable de distribución de la corriente en el precipitador, 0.15 mA/m² es la distribución mínima para electrodos de descarga tipo alambre.

Veamos nuevamente la fuerza del campo eléctrico en la capa de polvo $E = RI$. Si la resistividad del polvo R es alta, luego el campo puede ser suficientemente largo para causar una corona inversa perjudicial. La situación puede ser evitada por decremento de la corriente I , si no se logra evitar producir una corona inversa en áreas con alta densidad de corriente y simultáneamente insuficiente energía eléctrica en otras áreas.

2.7 OPERACION DE LA PULSACION DE LA ENERGIA ELECTRICA

Para la explicación asumimos que el precipitador trabaja con un polvo de alta resistividad, forzando a una baja energía eléctrica de 0.02 mA/m² ocurriendo una pobre distribución, como se muestra en la figura 17 A, y el desempeño del precipitador se deteriora como se muestra en la curva "A" de la figura 12.

Ahora se abastece energía eléctrica en una forma diferente, aplicando repentinamente dos mA/m² para 100 seg. y 0 mA/m² para 100 milisegundos, creando pulsaciones de una frecuencia repetitiva cerca de las 100 pulsaciones por segundo. El promedio de la corriente sigue siendo el mismo y por lo tanto no ocurre la corona inversa.

Durante el pulsado de 2 mA/m² la distribución es buena tal como la muestra la figura 17 B. El polvo sigue al gas a través del precipitador con un promedio de velocidad de 1.5 m/seg. Durante el tiempo entre irrupciones, 10 ms, el polvo puede viajar sólo 1.5 cm. Por lo tanto no puede escapar de ser cargado.

Una buena distribución eléctrica para no afectar el comportamiento de la energía, se opera en la curva "B" de la figura 12. La operación de pulsado puede remediar una falla en el comportamiento curva "A" pero logra un leve mejoramiento curva "B" .

La parte alta de la figura 16 muestra el flujo de energía eléctrica al presipitador de la ondulación normal en la unidad Transformador / Rectificador, el nivel de la energía eléctrica es controlado por tiristores en el primario del transformador.

La "p" representa el valor máximo de energía eléctrica y "A" el promedio.

Los controles modernos utilizan microprocesadores para calcular el mejor tiempo de disparo de tiristor por cada medio ciclo en la línea de voltaje.

Un procedimiento semejante se uso para disparar el tiristor por cada tercia de medio ciclo como se muestra en la parte baja de dicha grafica.

CAPITULO III

OPTIMIZACION

3.1 TIPOS DE PULSACION

La energización pulsada es un medio para cortar la energía de consumo sustancialmente y reducir las emisiones de partículas de polvo por bajo abastecimiento de pulso de alto voltaje.

Se han desarrollado dos sistemas para esta propuesta:

- El concepto de SEMIPULSO, con pulsos de milisegundos.
- El concepto de MULTIPULSO, con pulsos de microsegundos.

El resultado de la intensidad de pulso, también realza la habilidad del presipitador para colectar polvo de alta resistencia, como se muestran en las tablas 1 y 2.

Esto es un beneficio especialmente importante para carbón - eléctricas, donde un cambiador para carbón puede resultar en polvo de alta resistividad y consecuentemente, reducir la eficiencia de colección, con energización convencional, la energización pulzada es una de las varias alternativas y la técnica ciertamente ofrece un número de beneficios adicionales en los diseños y un ahorro de energía; tales como un tiempo mínimo para instalaciones, supervisión y mantenimiento durante la operación y bajos costos de inversión.

El carbón típico es el que produce grandes cantidades de ceniza de alta resistividad, las emisiones fueron reducidas en un

15% con energización de multipulso, comparadas con una energización normal. Con las de semipulso las emisiones fueron reducidas a un 45% se uso el multipulso con las unidades originales Transformador / Rectificador.

Con la eficiente operación del semipulso y multipulso se ahorra un 90% en el consumo de energía ver la tabla 3.

La figura 17 compara voltajes del presipitador electrostático para energizaciones de semipulso y multipulso y una energización convencional.

Puede verse el concepto convencional de una serie de ondas de corriente directa de ondas de la frecuencia principal en la ver figura 18. El tiempo entre las crestas del voltaje realiza emisiones del cada número y cada par de medios ciclos de la unidad Transformador / Rectificador en el primario. Con el semipulso el tiempo entre los pulsos es casi un multiplo impar de la duración del medio periodo para 50 Hz; 30, 50, y 70 milisegundos.

En una energización multipulso se usa en las conexiones electrostáticas parte del circuito de resonancia con un capacitor e inductor dentro de la unidad de multipulso. Un interruptor de semiconductor es usado para serrar el circuito de resonancia a intervalos prefijados que pueden ser libremente seleccionados. Mientras el interruptor del semiconductor es mantenido cerrado podría "rebotar" en la sección superior interna del precipitador y la unidad de multipulso, produciendo la típica sobre ampliación

del multipulso, que puede ser vista en la figura central. Ambos intervalos entre las sobre ampliaciones y el número de pulsos por ampliaciones pueden ser ajustadas dentro de un amplio rango. Nótese que con el multipulso, las crestas del voltaje en el PRECIPITADOR ELECTROSTATICO son considerablemente mayores que la energización convencional o una energización de semipulso. La diferencia en corriente es cada vez más pronunciada.

Donde la energización convencional del semipulso puede alimentar en ondas de corriente en el orden algunos amperes la energización de multipulso puede alimentar ondas de corriente en el orden de 100 amperes. Las crestas, ondulaciones de alto voltaje de corta duración y de muy altos impulsos de corriente obtenidos con energización con multipulsos resultando en un mejor diseño de los PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.

3.2 SISTEMA GLOBAL DE CONTROL Y SUS PARTES.

En la actualidad se han incorporado unidades especializadas de control, todas ellas independientes con su propia unidad de control inteligente en el microprocesador. Cada unidad se puede controlar y supervisar su propia parte del precipitador independientemente y en concordancia con parametros preescritos.

Controles que demandan una acción inmediata tales como una descarga disruptiva en el precipitador electrostatico o una sobrecarga en el motor de golpeteo, es siempre realizada directamente por la unidad especializada de control.

El sistema consiste en tres unidades de control:

- a) Sistema de control global
- b) Controlador óptimo de energía para la unidad transformador rectificador.
- c) Controlador de golpeteo para la unidad de percusión.

SISTEMA DE CONTROL GLOBAL: La supervisión y conducción del PRECIPITADOR ELECTROSTATICO, que es confiada al controlador global, da al operador un rápido y claro reporte de los parámetros de operación del precipitador, se pueden hacer cambios rápidos en algunos parámetros de operación, también se incorporo un reloj que puede alterar los parámetros de operación a tiempos seleccionados y que se puede ajustar a la mejor carga por instancia.

CONTROLADOR OPTIMO DE ENERGIA: Es la unidad que controla la energía de una unidad Transformador / Rectificador, los impulsos de energía del control óptimo de energía al precipitador, miles de veces en un segundo para controlar la unidad Transformador / Rectificador y que la frecuencia de la corriente disructiva sea continuamente corregida a un nivel correcto. Graves o serias corrientes de arcos eléctricos nunca pueden ocurrir en el precipitador. Este aprovechamiento en la eficiencia de colección, reduce el desgaste de los electrodos y el consumo de energía.

El multipulso es un sistema de pulsaciones de suministro de energía a intervalos de 0.1 milisegundos, contribuye a la reducción del 90% del consumo de energía en las carboeléctricas y al

nismo tiempo a bajar las emisiones de polvo.

CONTROLADORES DE GOLPETEO: Los golpeadores de cualquier precipitador son un componente para el sistema de manejo de polvo puesto que las partículas de polvo son conectadas con los electrodos, los golpeadores deben golpear a intervalos regulares, para una libre de polvo hacia las tolvas en la parte baja del precipitador. Hay además una unidad especializada en el sistema que controla y supervisa la operación de los golpeadores en el precipitador. Cada unidad puede controlar arriba de 16 electrodos de percusión, puesta en marcha y paros de las golpeadoras, en concordancia con 3 relojes automáticos para cada golpeadora, que empiezan con tiempo los intervalos entre golpeteo pueden ser seleccionados para cada golpeadora individualmente.

La operación de la golpeadora puede ser ajustada a la mejor carga del precipitador, un correcto tiempo resulta en una mejor y eficiente colección y reduce el desgaste del electrodo.

CAPITULO IV

CRITERIOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DE PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

4.1 INTRODUCCION

Este capítulo presenta los principios básicos de equipos y/o precipitadores para el control de partículas y efluentes gaseosos. No se hace a legislaciones locales o nacionales ni tampoco a regulaciones por la probabilidad de cambios año con año a las mismas; realizadas por las dependencias gubernamentales encargadas del control del medio ambiente.

La instalación de sistemas anticontaminantes altamente eficientes filtros y sistemas desulfuradores en nuestro país; si queremos tener un mejor ambiente.

Por tal motivo, los propietarios de plantas de fuerza, tales como Centrales Termoelectricas, Ingenieros Azucareros Plantas Cementera, Plantas Papeleras, etc. deberan incluir en sus proyectos algún sistema anticontaminante tal es el caso de los PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS. Cambios en la disponibilidad de combustibles así como los estandares de calidad de aire, han impactado significativamente la industria de utensilios eléctricos. Descontando la inflación, el costo de instalación de factorias mayores, se ha duplicado debido a las imposiciones de leyes ambienta-

les.

4.2 TECNICAS DE MEDIDAS

Es difícil de analizar los tamaños de partículas finas de materia debido a que la ceniza volante no es homogénea. La variación de la gravedad específica y forma de las partículas hace difícil describir el tamaño en términos absolutos.

Muchos métodos, incluyendo la fotomicrografía y varias técnicas de sedimentación se han utilizado para determinar la distribución de tamaños (EL ASME Performance Test Code Commitee ha seleccionado velocidades de asentamiento características de la emisión de cenizas volantes de hornos).

4.3 VELOCIDAD TERMINAL

La velocidad terminal de las partículas es un parámetro significativo en el diseño de los PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS .

Se incluye el efecto de la forma de la partícula y la gravedad específica de cada una. Su determinación es importante para polvos heterogéneos de forma y gravedad específica variables.

La caracterización de las cenizas volantes, también incluyen métodos para medir la resistividad eléctrica global, resistividad en sitio y tamaño de la partícula.

Debido a que no es posible calcular el comportamiento de un precipitador, es posible que por medio de las fórmulas fundamen-

tales básicas se determina el punto en el cual el comportamiento puede cambiar por la alteración en las condiciones de operación.

En la ecuación para un Precipitador de la fase simple donde la intensidad del efecto corona es igual a la intensidad del campo se tiene que la velocidad de migración será igual a:

$$w = \frac{pE^2 a}{6 \pi \mu}$$

E = Intensidad de campo

μ = Viscosidad del gas

a = Radio de la partícula

p = Constante dieléctrica, varía de 1.5 a 3.

Puede observarse que la velocidad de la partícula cargada que viaja a través del gas, se incrementa con un aumento en el tamaño de la misma y con la intensidad del campo eléctrico y que el movimiento de ésta se opone a la velocidad del gas.

La intensidad de campo eléctrico, que es el gradiente del voltaje entre los electrodos depende considerablemente de las propiedades de los gases, los materiales suspendidos en estos y la capa depositada en el sistema de electrodos. Lo anterior lo anterior tiene influencia en el salto de voltaje entre los electrodos y la corriente corona, esto es lo que determina el límite del campo eléctrico que puede aplicarse.

La velocidad de migración es aquella a la que viaja la partícula cargada a través de los gases bajo la influencia del cam -

po electrostatico y esta dada por la ecuación anteriormente descrita.

Esta ecuación es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico, que es a su vez esta relacionada con el voltaje de los electrodos de descarga y con el espaciamiento entre los mismos.

La velocidad también se relaciona directamente con el tamaño de la partícula y es inversamente proporcional a la viscosidad de los gases. Si dicha velocidad de migración se representa simplemente como la velocidad transversal de las partículas hacia las placas colectoras podría esperarse que el comportamiento del precipitador pueda calcularse con cierta seguridad.

En la práctica, el flujo en el precipitador es totalmente turbulento y la velocidad de migración por lo general se considera mas baja, al compararla con el efecto de turbulencia. La pregunta, por tanto, es si la partícula cargada se depositara en las placas colectoras, lo cual convierte en una probabilidad de que ésta sea inducida dentro de la proximidad de los electrodos colectores y efectivamente sea capturada. Entonces, las partículas de polvo que pasan a través del precipitador, pueden aprovechar las placas colectoras en cierto número de ocasiones, antes de ser capturadas finalmente.

Debido a este efecto, la influencia del tamaño de la partícula es mucho menos pronunciada de lo que podría indicar la ecuación

ación referida anteriormente.

4.4 COLECTORES Y SEPARADORES DE POLVO.

Antes de continuar con los principios básicos de diseño de **PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS**, haremos mención de algunos equipos colectores de polvo.

Los colectores mecánicos tipo ciclón, tienen una larga historia al servicio de los calentadores a fuego directo, Generadores de Vapor, Cementeras, Calderas, ETC. Su uso está limitado ahora a pequeñas unidades de reserva, debido a su baja eficiencia. Los colectores mecánicos pueden ser de tipo Ciclón seco ó húmedo.

COLECTORES MECANICOS DE CICLON: Estos dispositivos consiguen remover partículas por fuerzas centrifugas inerciales y gravitacionales desarrolladas en un separador de vórtice. El gas cargado de polvo se admite tangencialmente ó axialmente debido a un remolino, para crear una alta velocidad en porción cilíndrica del dispositivo.

Las partículas están sujetas a una fuerza centrifuga y a una resistencia dinámica opuesta. El balance entre estas dos fuerzas determina hacia donde la partícula se moverá, si hacia el muro ó será llevada a hundirse en el vórtice y ser pasada al tubo de salida del gas limpio. La alta velocidad que descarga directamente al vórtice, se revierte en el fondo de la sección cilin -

drica. En esta inversión, las partículas de inercia y gravedad así como la fuerza centrífuga inyectan el polvo en tolva. La acción de la circulación del gas inverso tendran lugar sobre un pequeño diámetro pero a una velocidad relativamente alta.

El vórtice interior, tiene un componente axial hacia arriba, que lleva el flujo espiral de gas al tubo de salida. En la parte central superior de la unidad del separador. Debido a que estos colectores dependen primeramente de una diferencial de inercia, la eficiencia de recolección varia con el tamaño de las partículas, densidad, temperatura del gas y presión a través de los aparatos. La eficiencia es muy alta sobre materiales mayores que 20 micras de tamaño pero decrece rápidamente cuando las partículas se aproximan al rango de menos de 10 micras.

La eficiencia total de un colector tipo ciclón puede ser estimada cuando la distribución del tamaño de partículas y la presión permisible baja, son conocidas.

La figura 18, relaciona la eficiencia del colector al tamaño de las partículas. En operación normal de los generadores de vapor los requisitos de presión diferencial para colectores mecánicos son de 2 a 5 pulgadas columna de agua.

LIMPIADORES HUMEDOS: El humedecimiento del polvo es un proceso estremadamente complejo que no tiene análisis teórico para comparar con los separadores mecánicos secos, Colectores Electrostaticos ó filtración.

En el análisis de partículas húmedas se conoce un número importante de hechos. Primero, las partículas de polvo deberán impactar sobre la cortina de agua. La eficiencia del impacto es una función del grupo adimensional $(V_r V_s)/Dg$ donde V_r es la velocidad relativa entre la caída de agua y la partícula de polvo V_s es la velocidad de asentamiento de la partícula de polvo; D es el diámetro de agua en micras y g es la aceleración de la gravedad. Como g y V_s son constantes para una partícula de polvo de un tamaño dado, la eficiencia del destino es una función inversa del diámetro de las gotas. Si la eficiencia de la recolección depende críticamente de la velocidad relativa y humedad, la eficiencia deberá ser una función de la potencia proporcionada a la unidad.

La fase de transferencia para pequeñas partículas requiere entrada de alta energía, usualmente en forma de grandes presiones a través del humedecedor. Los humedecedores de baja presión tales como las torres de rocío, recolectan polvo de cuarzo en el rango de 2 a 5 micras. Humedecedores de alta presión como los venturios son efectivos en la remoción de partículas de 0.1 a 1 micras.

Típicamente, una operación de humedecido de 6 pulgadas columna da agua de presión, deberá capturar el 100% de las partículas mayores a 5 micras y cerca del 90% en el rango de 1 a 2 micras.

La figura 19, muestra curvas típicas de eficiencia para un limpiador humedo operando a 6 pulgadas columna de agua de presión

SEPARADOR VENTURI: En un separador venturi, los gases con polvo son inyectados continuamente a través del venturi. Fluyendo de 12,000 a 18,000 pies/minuto, los gases producen una fuerza cortante debido a la alta velocidad diferencial inicial entre las dos corrientes. Este esfuerzo cortante causa que los líquidos se atomicen en gotitas muy pequeñas.

El impacto tendra lugar entre el polvo suspendido en el chorro de gas y las gotitas de líquido. Cuando el gas se desacelera, la colición continua y la aglomeración de gotas con polvo se descarga a través de un difusor en la camara baja de un tanque separador.

El golpeo de la corriente dentro del recipiente de líquidos, remueve la mayoria de las partículas.

Un separador tipo venturi operando en el rango de 30 a 40 pulgadas columna de agua puede coleccionar cerca de 100% de partículas de 0.2 a 1 micras.

CAPITULO V

FACTORES QUE DETERMINAN EL DISEÑO DE LOS PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

En la Precipitación Electorstatica, partículas suspendidas son eléctricamente cargadas y dirigidas a electrodos colectores un campo eléctrico, los electrodos estan aceitados para provocar que las partículas caigan en una tolva colectora.

Este proceso difiere de los procesos mecánicos o de filtrado en los cuales las fuerzas son ejercidas directamente sobre las particulas en lugar de sobre el gas como un todo. La separación efectiva de partículas puede ser realizada con el gasto mas bajo de fuerza y con poco o nada de efectos sobre los gases.

En algunas partes del mundo el control de las emisiones vino con la prevención o minimización de humos molestos. Tal control requirio equipo capaz de tener un porcentaje de eficiencia del 70 al 90%.

Posteriormente, la necesidad de proteger los ventiladores reduciendo la entrada de cenizas volantes emitidas desde los quemadores, obligo a construir precipitadores en las plantas motrices. La primera aplicación de este tipo de equipo fue en el año 1923.

Los usuarios iniciales de PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS los instalaron para:

- a) Recobrar un producto valioso, tal como el cobre, calcio y salmueras.
- b) Para proteger equipos de proceso tales como ventiladores inducidos.

Como se aplicaron inicialmente, los precipitadores fueron diseñados para proporcionar una area mínima de placa a bajo costo. Los diseños utilizaron placas entre cerradas y electrodos de descarga de alambre pesado suspendidos, instalndo vibradores sobre la cubierta, los cuales removian las partículas de los colectores

Para satisfacer una demanda de colectores de alta eficiencia, de construcción resistente y alta confiabilidad, los fabricantes Europeos en posesión de la patente básica diseminada por FREDERICK GARDNER COTTRELL; desarrollaron el precipitador de Marco Rigido. Realmente este diseño, se acerca más al diseño original de COTTRELL que al diseño de alambres pesados.

El término Marco Rigido se refiere al marco de tubos o electrodos masivos de descarga, con interruptor de alambre. El diseño básico incorpora: Configuración de placas segmentadas colectoras y perfiles de una altura cercana a los cuarenta pies.

5.2 TIPO DE COMBUSTIBLE

El diseño de un PRECIPITADOR ELECTROSTATICO va a depender durante todo el tiempo de su operación de tipo de combustible que se queme en el hogar de la caldera u horno industrial al cual se le va a colocar dicho precipitador.

Mientras más información se pueda obtener del tipo de combustible antes de iniciar el diseño, menor será la posibilidad de tener problemas con su comportamiento.

Es necesario prestar atención a las propiedades del tipo del combustible que se va a utilizar. Se deben tomar muestras de los tipos de combustibles que vayan abastecer la planta durante la vida útil de la misma.

Normalmente se ha estado utilizando e instalando los PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS en plantas carboelectricas; pero en la actualidad, se tiene la tendencia a utilizar estos equipos en la mayoría de la plantas Termoelectricas, Refinerias, Ingenios Azucareros, Cementeras y Papeleras.

Los análisis de los combustibles se usan para estudiar las eficiencias de colección necesarias y la concurrencia de los diferentes minerales y elementos que los constituyen.

Usualmente, en las condiciones de diseño se establece la eficiencia de colección requerida, sin embargo conviene anexar todos los análisis de muestras de combustibles disponibles, con el objeto de que se pueda recomendar el tamaño del precipitador, basándose en la experiencia sobre las diferentes combinaciones de los residuos presentes en la ceniza.

Se debe tener cuidado al usar y juzgar las propiedades de muestra de combustible, en especial las de carbón extraídas de

una mina determinada, ya que después de largo tiempo se han observado variaciones en sus características. El bajo contenido de sodio en el carbón, perjudica el comportamiento del precipitador. Si el contenido de sodio se reduce del 3 al 1% la velocidad efectiva de migración decrecera por lo menos en un 50% y es - to exigirá aproximadamente un 50% de incremento en el tamaño del precipitador.

5.3 SELECCION DEL TAMAÑO DEL PRECIPITADOR

El tamaño de un precipitador (El area de superficie de colección por unidad de flujo de gases) depende de la eficiencia de colección requerida, distribución del tamaño de partículas, propiedades químicas de la ceniza (Resistividad Eléctrica) altitud y otros factores. Se ha notado que la ceniza del carbón con bajo contenido de azufre es difícil de precipitar, debido a su alta resistividad eléctrica.

Para establecer el tamaño de un precipitador, conviene determinar en un laboratorio, la resistividad eléctrica de la ceniza, estudiar el análisis de sus minerales y realizar las pruebas correspondientes en plantas piloto. Se debiera tener especial cuidado al interpretar los datos de la resistividad eléctrica, debido a la cantidad de factores que determinan la misma, incluyendo el metodo de combustión, el cual influye en le grado de retención de azufre en la ceniza.

Otros factores que contribuyen en la resistividad son el

contenido de humedad de los gases y su temperatura, los esfuerzos eléctricos aplicados a la ceniza, el tamaño de las partículas y el tipo de equipo para medir la resistividad.

Cuando el carbón y los combustibles empleados se quemen en otra planta diferente para la que se va a seleccionar el precipitador, deberá tenerse especial cuidado en obtener condiciones similares en su combustión y en la distribución representativa del tamaño de las partículas.

Debe tenerse en cuenta un margen para calcular el flujo de gases calientes a través del precipitador, con el fin de cubrir alguno ó algunos de los detalles siguientes.

- a) Periodos en que se requiera operar la caldera con incrementos de exceso de aire debido a la escoriación.
- b) Cambios debidos al paso del tiempo en la fuga de los precalentadores de aire; así como en las fugas a través de los ductos, juntas de expansión y puertas de acceso.

Para proponer el tamaño de un precipitador el diseñador deberá basar su experiencia en pruebas realizadas en el pasado. Normalmente estas pruebas incluyen flujos de gases medidos por un Tubo de Pitot. Este método tiene la particularidad de indicar un flujo normalmente mayor que el actual, un error del 10% en el flujo de gases podría resultar en un error de la misma magnitud o en el tamaño del precipitador, lo que podría causar un incremento del 70% en las emisiones.

Una vez seleccionada la fuente de combustible a fin de cumplir con las regulaciones ambientales de emisiones, se debe especificar la concentración de partículas a la entrada del precipitador reflejada por la concentración de las mismas a la salida. La caldera puede influir en ambas selecciones.

Se supone que de el total de la ceniza que contiene cualquier tipo de combustible, determinado el porcentaje será ceniza volátil y el resto ceniza de fondo. La selección de estos porcentajes puede ser significativa para el tamaño y la eficiencia de la colección que requiere el precipitador.

5.4 COMPONENTES Y ACCESORIOS INTERNOS DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

Las partes que integran interiormente un PRECIPITADOR ELECTROSTATICO son elementos y partes metálicas previamente seleccionados, dependiendo del alto contenido de corrosión que provoque el polvo ó ceniza a precipitar, las cuales se describen a continuación.

ELECTRODOS DE DESCARGA: Normalmente estos electrodos están formados o fabricados por Barras, Soleras, o Perfiles de diferente sección transversal, los cuales forman la parte medular del precipitador, ya que dependiendo de la forma y tipo del material, se determina la eficiencia de colección de cenizas ó polvo del precipitador (Ver figura 20).

El flujo de corriente en un campo eléctrico depende sustancialmente del tipo de electrodo de descarga.

Los electrodos perfilados en forma de estrella ofrecen los mejores resultados donde el polvo y las propiedades del flujo de gas son favorables. Donde la ionización del gas es altamente intensa los electrodos de descarga deberán tener en las bridas o secciones del perfil radios de curvatura muy pequeños, con la finalidad de provocar un incremento de temperatura en esta zona. Para polvos de muy baja conductividad el efecto de descarga de los electrodos perfilados con bordes planos. No son por lo general satisfactorios, en tales circunstancias, la ionización requerida de los gases y la carga satisfactoria del polvo se obtiene por el uso de electrodos de descarga tipo punta. Estos electrodos están hechos de tiras de solera teniendo los bordes redondeados tipo diente de sierra, en las puntas de descarga a intervalos regulares.

La selección de los electrodos de punta ó estrella depende de la resistencia del polvo. Este tipo de electrodos tienen una sección de cruce de 1/4 de pulgada y están montados en fuertes tubos ó marcos tubulares con puntas horizontales (Ver figura 21).

Debido a que los alambres de este sistema de electrodos no protegen por debajo de las cortinas colectoras, están susceptibles a daños por sobrellenado de las tolvas de polvo.

PLACAS COLECTORAS: El rendimiento de las placas colectoras esta determinado esencialmente por la propiedad da atrapar partículas de ceniza y polvo provenientes de los electrodos de descarga.

Los electrodos colectores ó placas colectoras generalmente son fabricados en lámina rodada en frío (Perfiles prefabricados). Los perfiles estan formados con quiebres paralelos y reforzados las orillas. La alta propiedad de deposito de los electrodos ó placas colectoras es alcanzado por las orillas de estos quiebres ó canales formados durante el proceso de fabricación. En el área de estos canales, zonas de flujo estatico estan establecidas y ofrece un efecto dual de un cierto grado de separación mecánica además de prevenir una redepositación de polvo ó ceniza colectado. Los electrodos ó placas de descarga estan colocados verticalmente y fijados en la parte superior de las vigas soporte, y en la parte inferior de las barras de golpeo. De tal manera que un comportamiento mínimo de golpeteo, es requerido para la precipitación del polvo ó ceniza en las tolvas colectoras (Ver figura 22).

VIGAS SOPORTE DE ELECTRODOS O PLACAS COLECTORAS: Estos elementos como su nombre lo indica generalmente van colocados en la parte superior del precipitador soportando los electrodos colectores, estas vigas forman parte de la estructura principal (Ver figura 22).

BARRAS GOLPEADORAS DE ELECTRODOS DE DESCARGA: Estas barras estan integradas al sistema de servomecanismos que integran el sistema de golpeteo, el cual consiste en una serie de martillos (Uno por cada electrodo de descarga) colocados paralelamente, sobre la misma línea de acción, los cuales operan a determinados intervalos de tiempo, golpeando los marcos rigidos de los electrodos colectores y consecuentemente provocando desprendimiento de cenizas y/o polvo hacia los electrodos ó placas colectoras (Ver figura 22).

SISTEMA DE GOLPETEO DE LOS ELECTRODOS O PLACAS COLECTORAS

Este sistema se localiza en la base de los electrodos ó placas colectoras y el extremo a la salida de los gases que van hacia la chimenea ó sistemas de precalentamiento a utilizar. Este sistema consiste en un servomecánismo que puede estar integrado en conjunto con el sistema de barras golpeadoras o estar conectado y funcionando independientemente. Esta formado por un sistema de flechas levas y martillos los cuales golpean el extremo inferior de las placas colectoras provocando la caída del polvo ó cenizas a la tolva de colección. Una cortina colectora llega a tener hasta 48 pies de largo (Ver figura 22).

PLACAS DIFUSORAS: Estas placas generalmente se conocen como cortina o pantalla de distribución y van colocadas inmediatamente después de la tolva de entrada de gases calientes al precipitador la finalidad de esta cortina es provocar una distribución de los gases a toda el area de entrada de la sonda colectora, ga -

rantizando una eliminación de turbulencias en los gases de entrada. Normalmente son fabricados en materiales resistentes a altas temperaturas.

CARCAZA: Esata fabricada a base de placas y perfiles estructurales y esta arreglada en paneles ó tableros para su fácil y rápida colocación y una minimización en los costos de montaje, los paneles ó tableros que la integran se fabrican dependiendo del tamaño y condiciones del precipitador.

5.5 TEORIA BASICA

Los **PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS** se han usado por decadas en la colección de partículas suspendidas en los gases de muchos procesos industriales, esta popularidad de los precipitadores, esta basada en tres importantes principios.

- a) Baja caída de presión 100 a 200 pascales (1/2 a 3/4 in.wg) en el flujo de gases.
- b) Baja sensibilidad a altas temperaturas.
- c) El tamaño para eficiencias de colección de hasta un 99%.

Para comprender la exigencia impuesta en el diseño de un **PRECIPITADOR ELECTROSTATICO**, una descripción simple del fenómeno involucrado es requerida.

Como se ha mencionado anteriormente, los **PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS** utilizan fuerzas electrostaticas para separar

partículas de polvo de los gases que se van limpiando.

Los PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS operan aproximadamente como se indica en la figura 23.

El gas caliente, producto de una combustión o reacción química, es conducido a una cámara conteniendo cortinas de placas de acero colocadas verticalmente. Estas cortinas dividen las cámaras interiores en un número de pasajes paralelos para el gas.

Un marco rígido con alambres fijados al mismo, es colocado entre cada pasaje, todos los marcos están fijados a cada uno de los marcos rígidos de trabajo. El marco entero de trabajo está colocado en su lugar por cuatro soportes aislados, los cuales están conectados eléctricamente a tierra.

Un rectificador de corriente de alto voltaje, típico de 50 kv con voltaje negativo está conectado entre el marco de trabajo y la tierra, creando de este modo una tormenta eléctrica entre el campo, entre los alambres, entre el marco de trabajo y las cortinas de acero. El campo eléctrico por lo tanto es fuerte y necesita de la superficie de los alambres para provocar que una descarga eléctrica se desarrolle a lo largo de los alambres. El gas es ionizado en la descarga de la corona y grandes cantidades de iones positivos y negativos son formados. Los iones positivos son inmediatamente atrapados hacia los alambres negativos debido a lo fuerte del campo. Los iones negativos por lo tanto tienen que atravesar el espacio entre los electrodos para alcan -

zar la proximidad de la cortina positiva.

Hasta ahora, se ha obtenido un flujo de iones negativos de los alambres los cuales son también conocidos como electrodos de descarga. En el camino hacia las cortinas de las placas de acero los iones chocan y se adhieren en las partículas del gas, las partículas así por lo tanto cargadas eléctricamente empiezan a emigrar en la misma dirección de los iones hacia la cercanía de las placas ó cortinas colectoras de acero.

La fuerza eléctrica en cada partícula, por lo tanto, debiera ser más grande que la fuerza gravitacional en la partícula. La velocidad de migración hacia la cortina de acero es por lo tanto mucho más grande que la velocidad de sedimentación en la bajada libre.

El polvo es colectado en grandes cantidades en las cortinas ó placas colectoras también llamadas electrodos colectores.

Como un resultado de golpes periódicos la masa de polvo acumulada es llevada y depositada por su propio peso en una tolva de cenizas.

ANÁLISIS DEL DISEÑO DE PRECIPITADORES: Es tradicional considerar la ecuación semiempírica de DEUTSCH-ANDERSON, en el diseño analítico para eficiencias arriba del 98%. Sobre este nivel el cumplimiento se puede predecir seguramente por una modificación de la fórmula mencionada.

La eficiencia de recolección de los PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS, esta relacionada con la superficie total de los electrodos por unidad de volumen del gas y es directamente proporcional a la velocidad de migración de las partículas.

La eficiencia en la ecuación DEUTSH-ANDERSON se determina por:

$$\eta = \left(1 - e^{\left(\frac{-Aw}{v} \right)} \right) 100$$

donde: η = Eficiencia de colección (%).

e = Base de logaritmos naturales (2.718...).

A = Area de superficie del electrodo colector (m²).

w = Velocidad de migración m/seg.

v = Relación real volumetrica de gas en 1000 ft/s. a una temperatura y elevación determinados.

Entendiendo la importancia del proceso de precipitación la ecuación mencionada no predice satisfactoriamente la ejecución para una ceniza conocida en mayor o menor eficiencia, que en un punto real de prueba. Esto es por que descansa enteramente sobre la ley de STOKES y es propiamente aplicada a partículas de tamaños medios que son efectivamente del mismo tamaño y experimentan la misma fuerza. La carencia de correlación de datos de ejecuciones analíticas y de campo se ha encontrado que es proporcional a la variación en la velocidad de migración y nos lleva al desarrollo de una ecuación modificada.

$$\eta = \left| 1 - e^{\left(\frac{-Aw}{v} \right)^k} \right| 100$$

Donde w es ahora la velocidad de migración empírica como se observa para una baja eficiencia y k es una constante aproximadamente de 0.5 pero variando entre 0.4 y 0.8, dependiendo de la ceniza específica y su aplicación los otros términos se definieron en la ecuación anterior.

5.6 AREA ESPECIFICA DE COLECCION

El área específica de colección relaciona el tamaño de un precipitador en términos de la superficie del área del electrodo recolector de gas tratado. El área considerada es la superficie plana proyectada en ambos lados de los electrodos colectores; el volumen del gas, es el real a la temperatura de operación del diseño y la elevación de la planta. Dependiendo de las características físicas, químicas y eléctricas de la ceniza del carbón. El área específica de colección deberá ser una relación de la misma superficie entre el volumen del gas a manejar.

TIEMPO DE TRATAMIENTO: Se refiere a la cantidad de tiempo que una partícula fluctuará en presencia de los electrodos colectores a la velocidad de diseño, si fuera permitido atravesar la longitud entera del precipitador. La longitud de tratamiento no es la longitud total frente - fondo de la caja, pero si es la relación de la dimensión horizontal desde el plano de la carga frontal del primer colector a la cara lejana de la última superficie menos los espacios para andadores.

VELOCIDAD DEL GAS: La velocidad del gas es un parámetro crítico en el diseño. Se calcula al dividir el volumen real del gas (A la temperatura y elevación del diseño) por el área de la cara del precipitador del primer electrodo colector. La altura efectiva de la placa en pies es multiplicada por la dimensión interior cara a cara entre los muros laterales envolventes para dar el área de la cara.

El diseño para carbones de bajo azufre y bajo sodio usa velocidades entre 3 y 4 pies/seg. para carbones de alto azufre y alto sodio se usan velocidades del orden de 5 pies/seg.

Se recomienda que la velocidad de los gases dentro de un precipitador no exceda de 1.22 m/seg., yá que lo mas recomendable es manejar flujos de gas laminares para garantizar la eficiencia máxima.

NUMERO DE CAMPOS: Por confiabilidad los precipitadores estan divididos en campos, cada uno de los cuales es una sección eléctricamente independiente en la dirección del flujo de gas. Sistemas con un gran número de campos (5 ó 6) no son seriamente afectados por la perdida de un simple campo.

CONTROL AUTOMATICO DE VOLTAJE (AVC): Los sistemas AVC guardan a los precipitadores trabajando en su voltaje pico. Tales sistemas pueden ser analógicos ó digitales. Los sistemas de control digitales son habiles para mantener un potencial mayor de voltaje del precipitador entre el electrodo de descarga y la pla-

ca colectoras que los analogos.

TAMAÑO Y PENDIENTE DE LA TOLVA: El diseño apropiado de las tolvas de colectores que forman el piso de un precipitador es importante porque una caída en el flujo de salida, resulta en un sobrellenado que puede causar daños severos a las partes internas eléctricas. Los fabricantes han hecho comprensibles recomendaciones relacionadas con el diseño y calentamiento de los precipitadores, fabricantes de filtros, de tolvas y sistemas de remoción de ceniza. Estas recomendaciones ayudan a la industria a eliminar costosas reparaciones de estas partes del complejo transporte colector.

Las tolvas serán diseñadas en forma piramidal el nivel máximo de polvo acumulado en las mismas tolvas no deberá ocasionar corto circuito con los electrodos, o intervenir con el buen funcionamiento del precipitador. Las tolvas deberán ser de capacidad suficiente cada una para un almacenamiento mínimo de 8 horas de operación a la condición máxima de operación del generador de vapor, con el carbón, además de poder coleccionar el polvo cuando se opere con una de las cámaras fuera de servicio; el ángulo de inclinación no debe ser menor de 55° con la horizontal.

La brida de descarga de las tolvas, deberá localizarse a una altura de 4600 mm sobre el nivel del piso, de tal manera que permita la instalación de válvulas del tipo "air lock" o similar.

Las tolvas deberán diseñarse con almohadillas de fluidiza-

ción, placas para golpes de martillo en su exterior y elementos eléctricos de calefacción entre el aislamiento termico y la tolva propiamente dicha, para mantener la mitad inferior de la tolva a una temperatura aproximada de 121°C (250°F), así como elementos electronicos de indicación de alto nivel, cuyo detector localizado en el interior debiera ser de acero inoxidable.

5.7 TEMPERATURA

Los PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS se deberan diseñar para resistir temperaturas por un período mínimo de 20 min. Para el caso de que los calentadores de aire regenerativos los cuales son instalados antes de la entrada de los gases calientes al precipitador se paren o su velocidad de rotación disminuya.

5.8 PRESION

Las paredes exteriores de los precipitadores, techos, partes internas, tolvas y ductos deberan ser diseñadas para soportar una presión diferencial de más de 500 mm CA (20" CA) sin deformación permanente.

La máxima caída de presión, no deberá ser mayor de 55 mm CA para cualquier condición de operación.

CAPITULO VI

MONTAJE Y CONSTRUCCION DE PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

6.1 MONTAJE

CONTRAVENTEO: La estructura de edificios de acero se construirá a plomo y a nivel, dentro de los límites definidos, y se colocará contra viente temporal cuando sea necesario para tomar en cuenta todas las cargas a que pueda quedar sometida durante el montaje, incluido el equipo y su operación. El contraventeo permanecerá en su lugar mientras la seguridad lo requiera.

CONEXIONES PROVISIONALES: Durante el montaje todas las piezas deberán asegurarse mediante pernos o soldadura, para tomar en cuenta los esfuerzos producidos por carga muerta, viento, sismo y operaciones de montaje.

ALINEACION: No se colocarán remaches ni pernos o soldadura definitiva hasta que toda la zona de la estructura que vaya a quedar rigidizada por ellos y esté adecuadamente alineada y plomeada.

SOLDADURA DE CAMPO: La pintura de taller en superficies adyacentes a juntas que se vayan a soldar en campo se pulirán con cepillo de alambre, hasta reducir la capa de pintura a un mínimo.

ASPECTOS GENERALES: Todas las provisiones de esta especificación se aplican también al refuerzo, reparación o modifica -

ción de estructuras existentes, salvo cuando las afecte alguna de las siguientes cláusulas.

MATERIALES:

1.- Antes de preparar los dibujos y especificaciones relativos al refuerzo, reparación o modificación de una estructura existente, se determinaran las características del metal base empleado en ella.

2.- Cuando se vayan a soldar entre sí aceros de distintas propiedades, se prestara especial atención a la selección del metal de aportación y del procedimiento de soldadura que se empleará para depositarlo.

DISEÑO:

1.- Antes de diseñar las reparaciones o refuerzos de las estructuras existentes, deben determinarse los siguientes puntos:

1.a El caracter y extensión, de los daños de las piezas y conexiones que requieran reparación o refuerzo.

1.b Si las reparaciones consistieran solo en reponer las parte corroidas o dañadas, o el remplazar miembros completos.

2.- Al diseñar un refuerzo que vaya mas allá de reponer los miembros corroidos o dañados se hará un estudio completo de las condiciones de estabilidad en que se encuentra la estructura. Si esta sometida a cargas repetidas se tomará en cuenta el efecto, sobre su resistencia a la fatiga, de los ciclos de carga que haya

soportado ántes.

3.- Si la estructura esta sometida a cargas repetidas, los detalles del refuerzo se harán tomando en cuenta el efecto debilitante que tienen las concentraciones de esfuerzos en la resistencia a la fatiga del metal base.

MANO DE OBRA:

1.- Las superficies de metal antiguo que vayan a quedar cubiertas por material de reparación o refuerzo se limpiarán de polvo, óxidos y otros materiales extraños, salvo la capa de pintura adherente. Las porciones de superficies sobre las que vayan a soldar se limpiarán cuidadosamente eliminando todos los materiales incluyendo la pintura, en una franja de ancho no menor de 5cm a cada lado de los bordes de la soldadura.

2.- Los bordes a lo largo de los que se vayan a soldar, que hayan sido reducidos a un espesor menor que el tamaño especificado de la soldadura, se reconstruirán con material de aportación hasta tener un espesor igual al tamaño del cordón de soldadura, excepto en longitudes pequeñas ocasionales en las que no es perjudicial una pequeña reducción en el tamaño de la soldadura.

CONSIDERACIONES ESPECIALES:

1.- Antes de efectuar cualquier operación de refuerzo, reparación o modificación de una estructura existente, será necesario determinar si se permite, o no, que los miembros que la for-

man soportan carga viva mientras se realizan en ellos operaciones de soldado o de corte, teniendo en cuenta la extensión de la zona de la sección transversal del miembro que se afectará por el calentamiento resultante.

2.- Si se añade material a un miembro que soporta cargas que produzcan esfuerzos de 200 kg/cm² o mayores, ya sea para reparar porciones corroidas o para reforzarlo, es conveniente descargar el miembro o pre-reforzar el material agregado. Si no es factible ninguna de esas operaciones, el material adicional se proporcionará de forma que quede sometido a un esfuerzo igual al esfuerzo permisible en el miembro original menos el esfuerzo que origina en él, las cargas existentes.

Los remaches y pernos de alta resistencia existentes en la estructura original se pueden usar para tomar las cargas muertas de la estructura reparada, esforzada o modificada, de manera que la soldadura adicional se puede proporcionar para soportar únicamente las cargas restantes. Sin embargo, si la capacidad de los remaches o pernos existentes es menor que la necesaria para soportar la carga muerta, la soldadura adicional se dimensionara para tomar la totalidad de la carga (muerta viva y accidental).

Al agregar material para reforzar un elemento estructural es recomendable planear el orden en que se efectuarán las soldaduras de forma que se mantenga siempre una sección transversal simétrica, éste requisito es de particular importancia cuando se

permite que la carga viva siga obrando sobre la estructura durante el refuerzo o reparación.

6.2 PROCEDIMIENTOS PARA SUPERVISAR LA CONSTRUCCION Y/O MONTAJE DE PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

TRABAJOS QUE PUEDAN EFECTUARSE ENTES DEL MONTAJE Y/O PARALELAMENTE AL INICIO DE LA ERECCION.

- Obtener los planos de construcción del fabricante, e instructivos de montaje de los auxiliares del precipitador.
- Elaboración de dibujos propios para efectuar las inspecciones dentro de las cuales son imprescindibles los siguientes:
 - 1.- Corte transversal vertical del PRECIPITADOR ELECTROSTATICO
 - 2.- Corte del techo y piso
 - 3.- Corte de la sección de convección
 - 4.- Dibujo lateral
- Vigilar y hacer recomendaciones al personal de la gerencia de Ingeniería de Construcción, acerca de la protección anticorrosiva y contragolpes del material almacenado para la construcción.
- Si el diseño especifica materiales de aleación, se deberá comprobar en todas las piezas correspondientes, la presencia

del principal componente aleado por algún método rápido de identificación (prueba de gota, etc.).

- Se inspeccionaran ocularmente las láminas destinadas a la construcción del precipitador en busca de daño de almacenaje, y se calibrarán por muestreo comparando estos valores con los fijados en el diseño.

- Los defectos encontrados deberan ser notificados inmediatamente al personal encargado de la construcción

6.3 TRABAJOS QUE SE EFECTUARAN DESPUES DEL ARMADO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.

- Se inspeccionará visualmente los soportes para detectar y preveer posibles fallas de materiales. Se tendra para ellos en consideración los posibles movimientos que provoquen expansiones y contracciones termicas.

- Se supervisará el montaje con lo especificado por los planos de construcción, con el fin de localizar posibles defectos en el armado.

- Se revisará la estructura en busca de deformaciones o riginadas por cargas anormales o defectos en los elementos.

- La Superintendencia de Inspección Técnica y Seguridad Industrial, elaborara un informe de todo lo que se hubiera encontrado con defectos o fallas desde el inicio, hasta el termino del PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

Todas las actividades antropogénicas tienen un impacto ecológico. La televisión, los periodicos, la radio y otros medios de comunicación describen la destrucción del medio ambiente día con día.

La combustión de combustibles fósiles y su desperdicio inútil es en gran parte responsabilidad nuestra, la cual da como resultado gases tóxicos que contaminan el medio ambiente.

El efecto de invernadero está provocando cambios climáticos en el mundo, como la disminución de la capa de ozono en la estratosfera que tiende a volverse un problema mundial.

El efecto de invernadero descrito por Fourier EN 1827, significa que el calor radiante de la tierra es absorbido en la estratosfera. Un 50% del efecto de invernadero es causado por la emisión de óxido de carbono.

Un camino obvio para reducir estas emisiones es incrementar la eficiencia de los procesos de combustión de combustibles fósiles e instalar "Sistemas Anticontaminantes".

En este trabajo analizamos la conveniencia de utilizar los **PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS** dimensionándolos de acuerdo a los márgenes de emisión de partículas volátiles ya que los factores que intervienen en su captación se demuestran que se reducen ampliamente con la **PULSACION** de energía eléctrica por lo que en este estudio se propone el uso de este factor con el propósito

de incrementar la captación de las placas colectoras por el efecto corona y la distribución de la energía eléctrica en el Transformador - Rectificador del equipo mediante la mejora de la ionización de las partículas razón por la cual la resistividad eléctrica deja de ser un factor importante.

La PULSACION de energía eléctrica se considera como un requerimiento característico en el diseño y actualización de los PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS ofreciendo ventajas en la captación de cenizas volátiles de alta resistividad. Hay que señalar que anteriormente el área requerida era directamente proporcional a la eficiencia.

Resumiendo lo anterior la utilización del equipo propuesto traerá como uno de sus beneficios la posibilidad de mejorar el medio ambiente y obtener mayor eficiencia en el funcionamiento de equipos auxiliares así como un ahorro en el consumo de energía.

En la actualidad los organismos gubernamentales tales como CFE, FERTIMEX Y PEMEX, se han preocupado por implantar sistemas y equipos que ayudan a la reducción de productos o substancias altamente contaminantes tal es el caso de la instalación de dos plantas hidrosulfuradoras que PEMEX pondrá en marcha proxima - mente. El incremento en el uso de éstos nuevos tipos de combustibles en plantas de generación de energía aunado a la creciente inquietud por mejorar la calidad del aire que respiramos hace indispensable la exigencia de un aprovechamiento tecnológico siste-

mático en la evaluación del diseño de precipitadores con márgenes de seguridad relativamente altos ya que no se tiene un conocimiento completo sobre la variación de las propiedades eléctricas y mecánicas del polvo y la ceniza volátil, con respecto a las diferentes condiciones de operación de una planta determinada.

BIBLIOGRAFIA

- COMBUSTION ENGINEER
Manual para diseño de calderas y generadores de vapor
- FOSTER WHEELER
Electrostatic Precipitator
- AIR POLLUTION CONTROL
Flakt Review 1990
- STEAM
Babekok and Wilson 1987.
- MANUAL DE PROCEDIMIENTOS TECNICOS Y ADMINISTRATIVOS
PARA LA PUESTA EN SERVICIO DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS
- CENTRALES DE VAPOR
Gaffer S.A. 1986
- CLIMATOLOGIA DE DIFUSION DE CONTAMINANTES
SEDUE SARH; 1984.

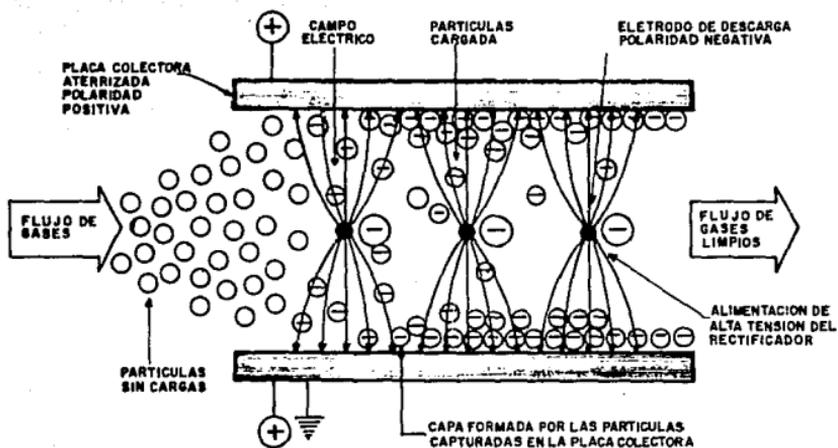
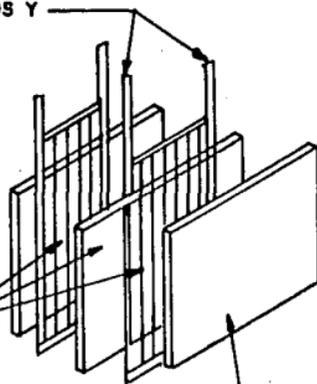


DIAGRAMA DEL PRINCIPIO BASICO DE PRECIPITACION ELECTROSTATICA

Fig:1

DESCARGA DE ELECTRODOS
MARCOS RIGIDOS Y
ALAMBRES

FLUJO
DE GAS



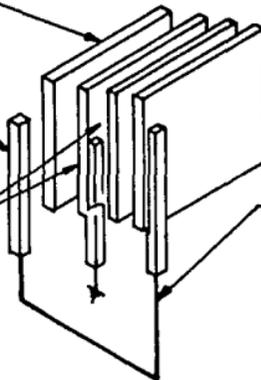
PLACAS COLECTORAS

PRECIPITADOR "E" DE 1ª ETAPA

PRECIPITACION 2ª ETAPA

TUBOS

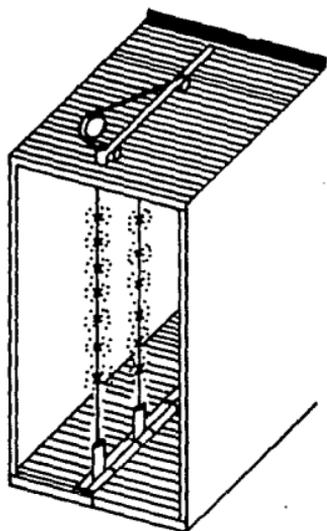
FLUJO
DE GAS



IONIZACION DE LOS
ALAMBRES PREVIA
1ª ETAPA

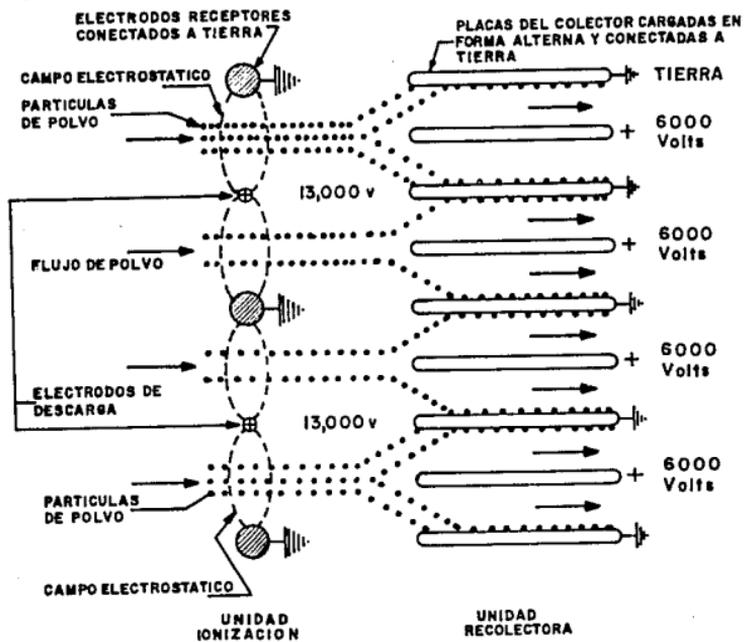
PRECIPITADOR "E" DE 2ª ETAPA

Fig. 2



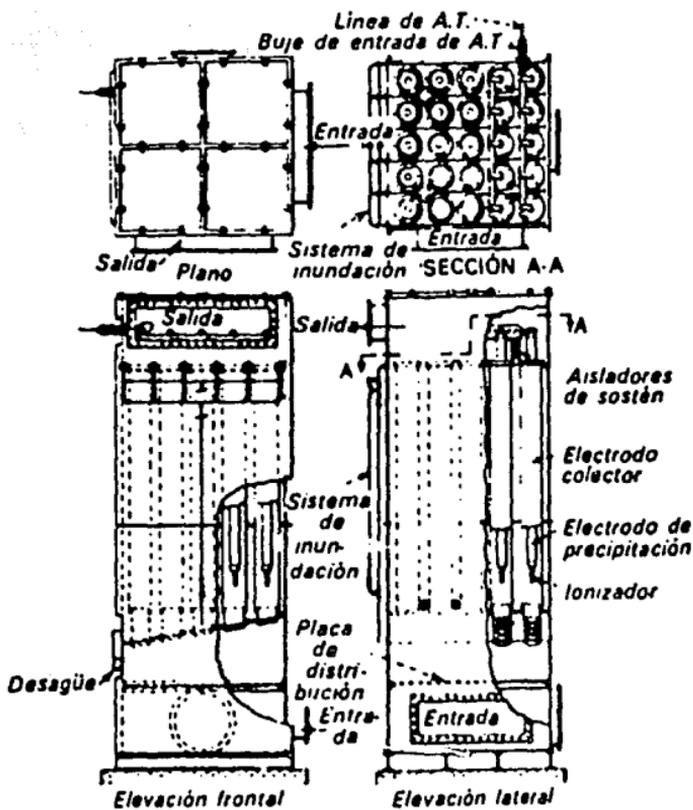
**ILUSTRACION DE LA UBICACION DE LA CORONA EN
LAS PUAS**

Fig. 3



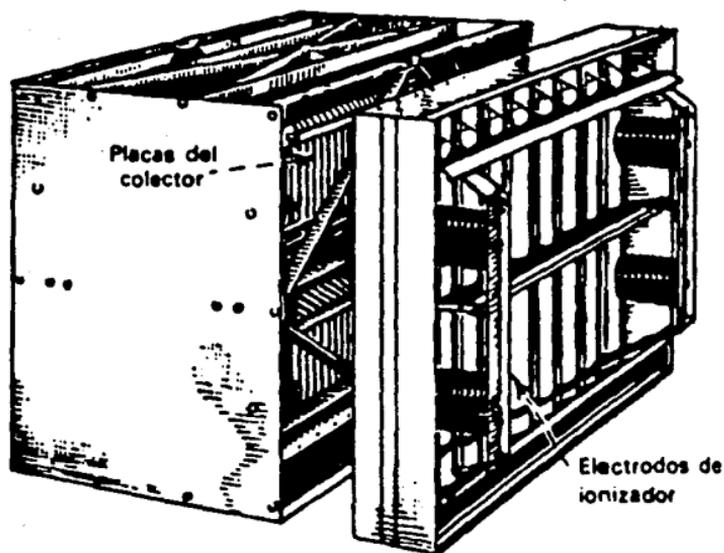
PRINCIPIO DE LA PRECIPITACION ELECTRICA EN DOS ETAPAS

Fig: 4



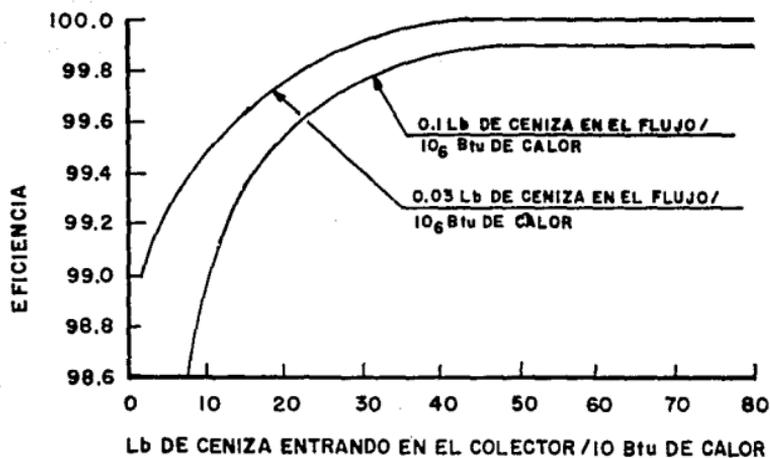
PRECIPITADOR DE TUBOS CON PELICULA DE AGUA, DE 2 ETAPAS

Fig:5



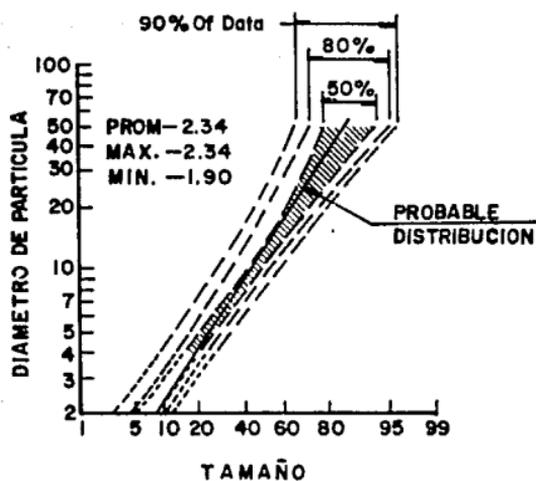
PRECIPITADOR ELECTRICO DE 2 ETAPAS UTILIZADO
PARA ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

Fig:6



EFICIENCIA REQUERIDA PARA LA COLECCION DE PARTICULAS
CONTRA LA CONCENTRACION DE ENTRADA DE CENIZA

Fig: 7



DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA DE CENIZA VOLATIL

Fig. 8

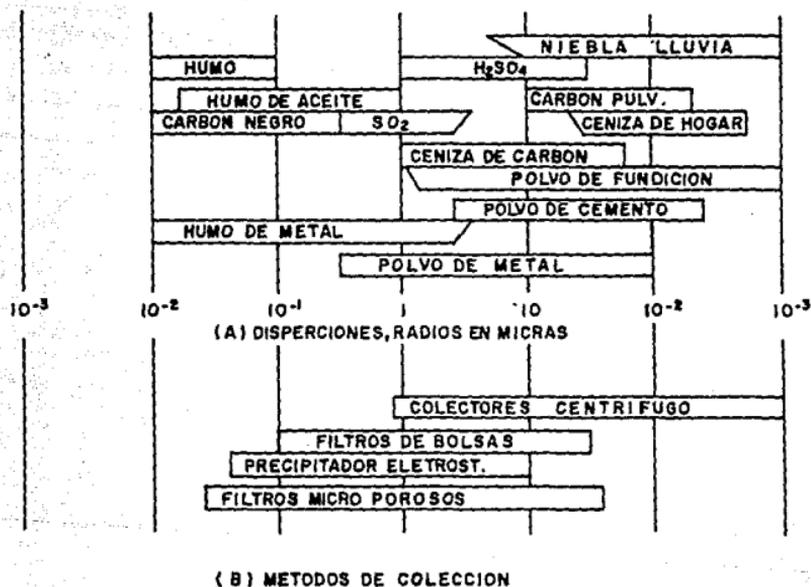
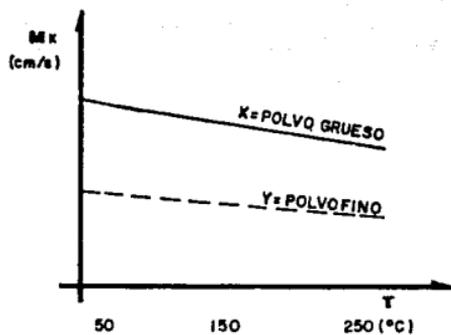
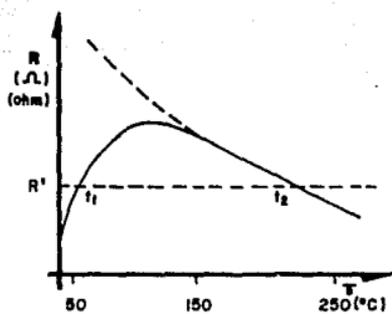


Fig:9



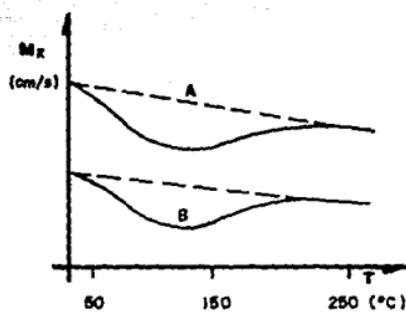
VELOCIDAD EFECTIVA DE MIGRACION CONTRA LA TEMPERATURA (M_k-T)

Fig: 10



RESISTIVIDAD DE POLVO CONTRA TEMPERATURA
(R - T)

Fig. II



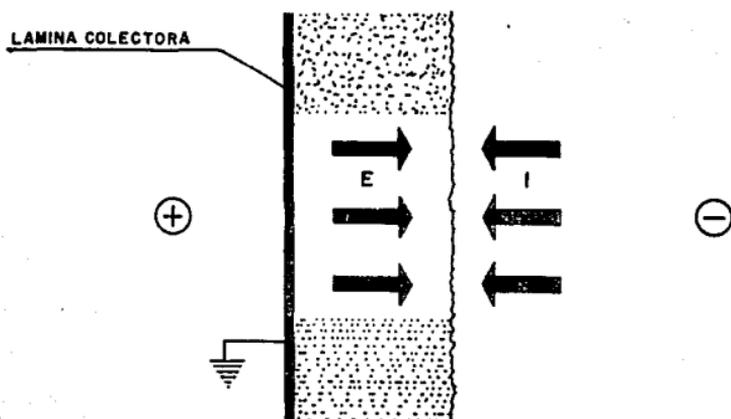
LA VELOCIDAD EFECTIVA DE MIGRACION (M_k)
REDUCIDA POR LA ALTA RESISTIVIDAD. (M_k-T)

Fig. 12

I INTENSIDAD DE CORRIENTE ELECTRICA [amperes]

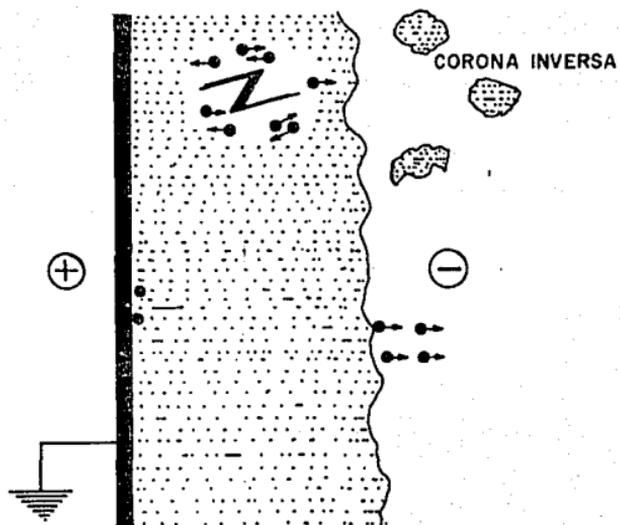
E CAMPO ELECTRICO $\left[\frac{\text{newton}}{\text{coulomb}} \right]$

R RESISTIVIDAD DE LA CAPA DE [ohms]
POLVO



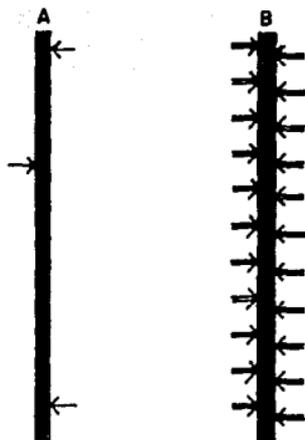
EL CAMPO ELECTRICO EN LA CAPA DE POLVO

Fig.13



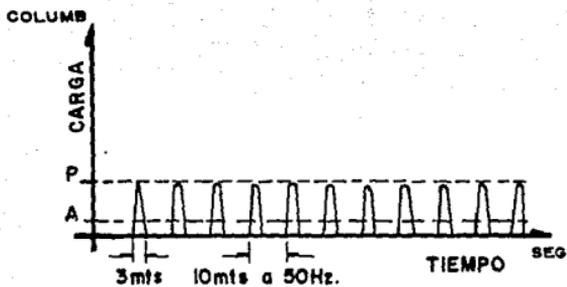
LA CORONA INVERSA EN LA CAPA DE POLVO

Fig: 14



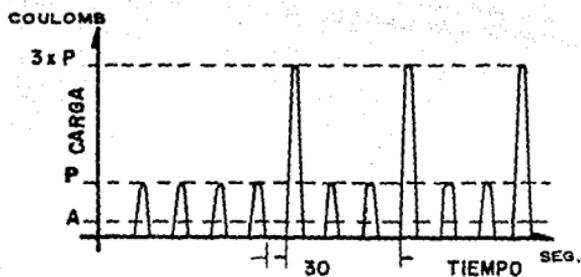
APARICION DE LA "CORONA" EN EL ELECTRODO DE DESCARGA

Fig. 15



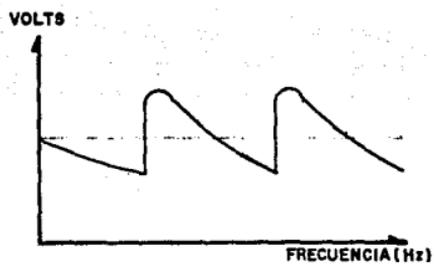
CUVAS DE ENERGIA PRODUCIDAS POR LAS
FORMAS DE SUMINISTRO

Fig:16 A



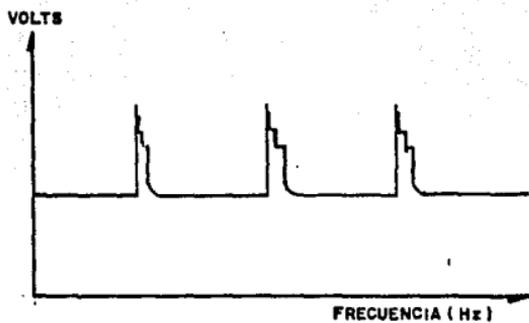
CURVAS DE ENERGIA PRODUCIDAS POR FORMAS
DE SUMINISTRO

Fig. 16 B



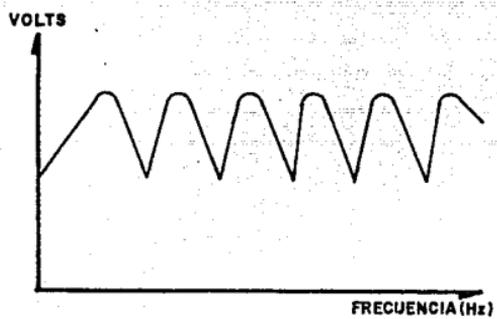
ENERGIZACION DE SEMIPULSO

Fig:17 A



ENERGIZACION DE MULTIPULSO

Fig:17 B



ENERGIZACION CONVENCIONAL

Fig:17 C

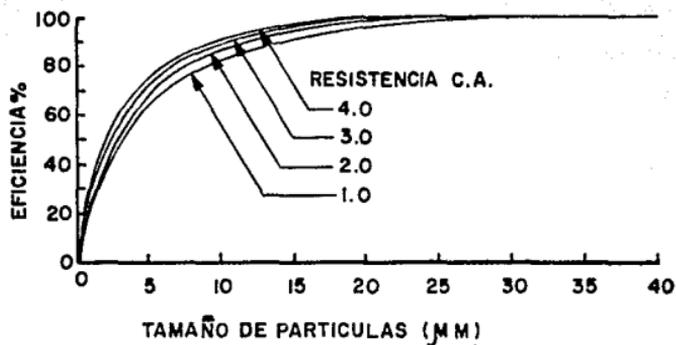


Fig. 18

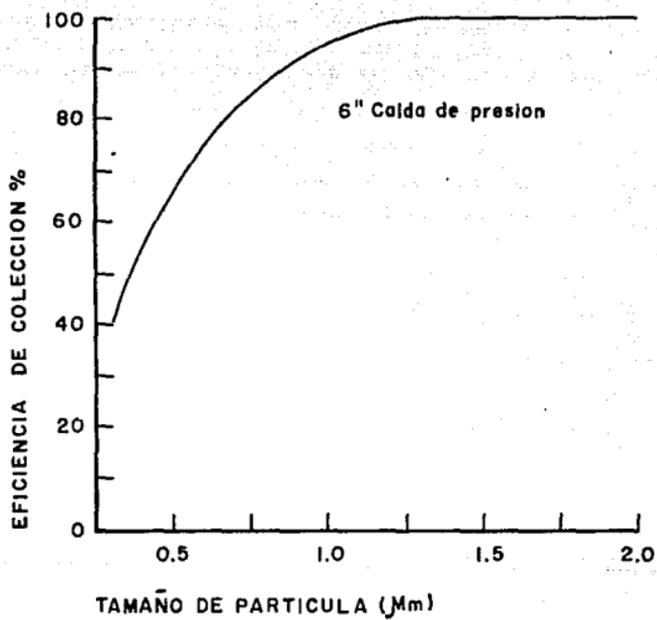


Fig: 19

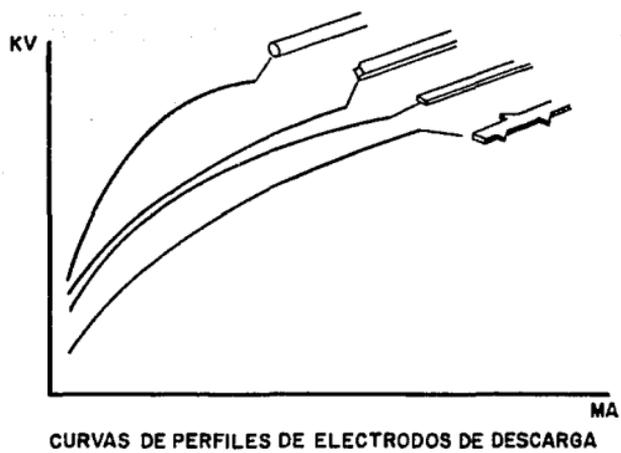
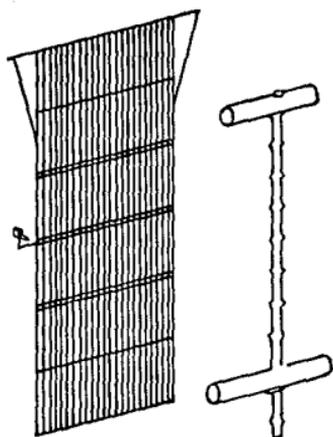


Fig: 20



**ELECTRODO DE DESCARGA, ENSAMBLE DE
ALAMBRE EN MARCO RIGIDO**

Fig:21

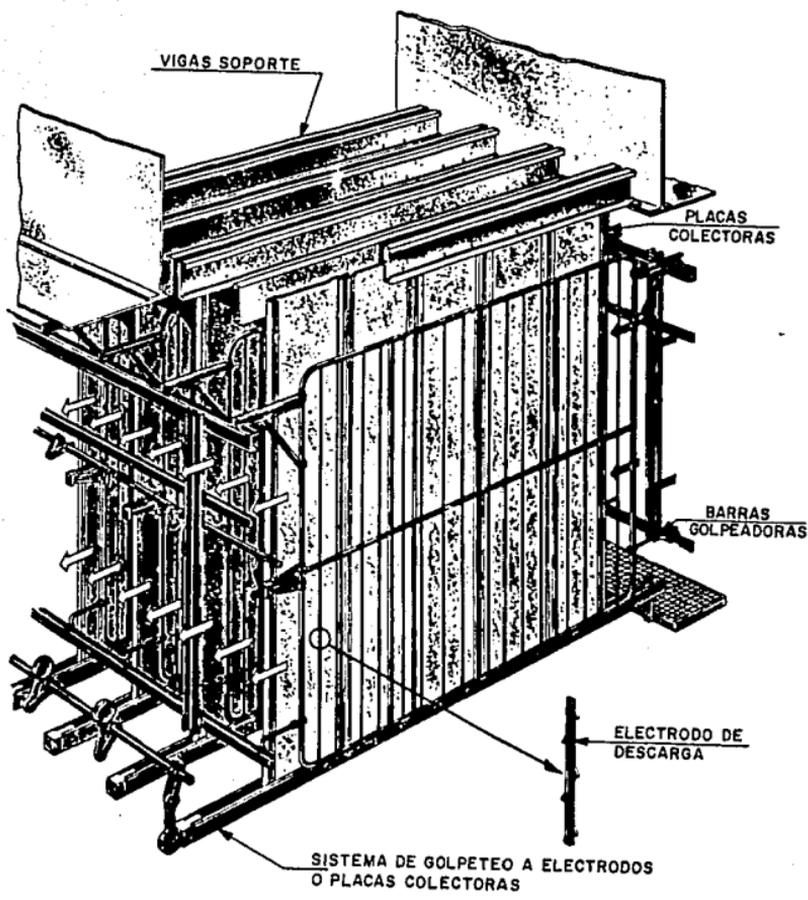
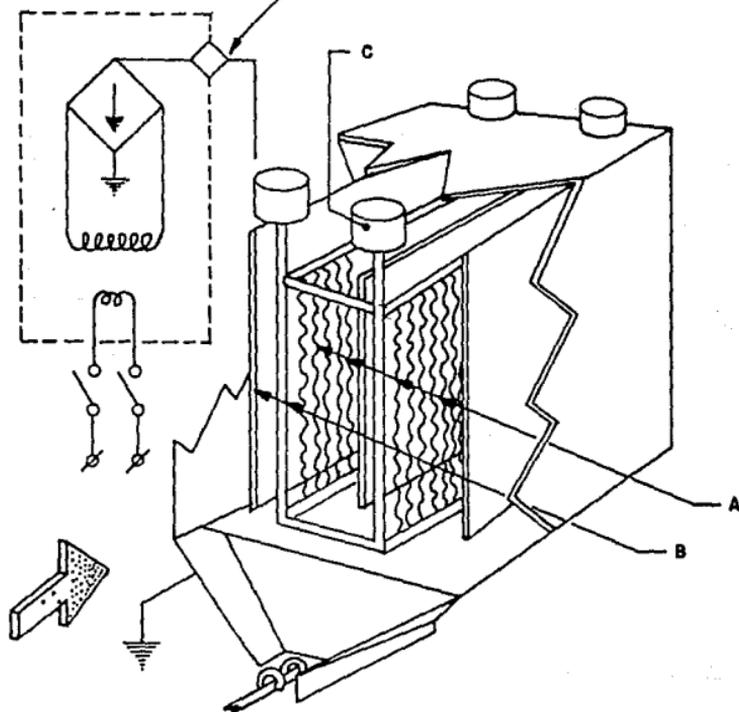


Fig. 22

CROQUIS DEL PRINCIPIO DE SISTEMA DE ELECTRODOS

RECTIFICADOR DE ALTO VOLTAGE



- A) EXTENSIONES DE ALAMBRES - ELECTRODOS EMISORES
- B) PLACAS SEPARADORAS - ELECTRODOS COLECTORES
- C) SOPORTES AISLADORES

Fig. 23

CAPACIDAD DE LA CALDERA (MW)	RESISTIVIDAD DE POLVO Ohm/cm	EMISION DE POLVO mg/m X h		CONSUMO DE ENERGIA	
		CONVENCIONAL	PULSO	CONVENCIONAL	PULSO
2 x 75	10	290	145	100	20
2 x 75	10	800	275	100	20
630	10	010	015	100	10
630	10	100	050	100	10

TABLA N.º 1 FIGURAS TÍPICAS DE EMISIONES DE POLVO Y CONSUMO DE ENERGIZACION CONVENCIONAL

ENERGIZACION	EMISION DE POLVO mg/m X h	ENERGIA CONSUMIDA Kw
CONVENCIONAL	350	85
SEMI PULSO	150	15
MULTIPULSO/SEMIPULSO	050	10

TABLA N.º 2

OPERACION	EMISIONES		POTENCIA iKw
	mg/m	NTP %	
CONCEPTO CONVENCIONAL	350	100	65
SEMIPULSO	160	045	15
MULTIPULSO	050		10

TABLA No. 3 COMPARACION DEL METODO DE ENERGIZACION DE LA PLANTA GENERADORA